

Jenni Smeds

**Energiateknisten pilottiprojektien kartoitus  
suomalaisessa talonrakentamisessa**

Opinnäytetyö

Syksy 2012

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## **Opinnäytetyön tiivistelmä**

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakennustekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: LVI-tekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Jenni Smeds

Työn nimi: Energiateknisten pilottiprojektien kartoitus suomalaisessa talonrakentamisessa

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2012

Sivumäärä: 102

Liitteiden lukumäärä: 0

---

Opinnäytetyön pyrkimyksenä on ollut kerätä tietoa ja kokemuksia koeluontaisista energiateknisistä hankkeista sekä niiden avulla saaduista tuloksista. Työssä käytetty materiaali on kerätty tekniikan alan lehtien ja julkaisujen pohjalta.

Tavanomaisten kiinteistöjen energiaratkaisujen rinnalle on kehittynyt valtava määrä pääsääntöisesti uusiutuviin energiamuotoihin pohjautuvia ratkaisuja. Näitä ovat geo- ja aurinkoenergia, tuulivoima, pellettilämmitysjärjestelmät sekä alueelliset energiaratkaisut. Toistaiseksi energiateknisten pilottiprojektien ratkaisuja ja tuloksia ei kerätä keskitetysti yhteen tietolähteeseen. Tähän tiedon ja kokemusten keräämiseen opinnäytetyö pyrkii vastaamaan. Työssä käsitellään myös kotimaisten rakentamismääräysten uudistamisen vaikutusta asuntotuotantoon sekä esitellään muita ekologisen rakentamisen näkökohtia. Energiatekniseksi ratkaisuksi on katsottu rakennuksen lämmitystapa, käyttöveden lämmitysmuoto, omavarainen sähköntuotto ja mahdollinen jäähdytysratkaisu. Alue on rajattu julkaisukynnyksen ylitäneisiin talonrakentamisen alalla toteutettuihin energiateknisiin pilottiprojekteihin.

Avainsanat: energiateknologia, energialähteet, uusiutuvat energialähteet, talonrakentaminen, asuntotuotanto

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: HVAC Engineering

Author: Jenni Smeds

Title of thesis: Analysis of Finnish experimental energy technology projects conducted in residential building field

Supervisor: Jorma Tuomisto

Year: 2012                      Number of pages: 102    Number of appendices: 0

---

The aim of the thesis is to collect information about and knowledge on pilot projects related to energy technology. This concerns projects that have been conducted in production of residential or office buildings. The information used in the thesis has been gathered from Finnish publications and newspapers that operate in the branch of technology.

During the last decade the solutions and applications used in the heating and water supply systems in buildings have evolved rapidly. Along with the solutions of common energy technology many new heating and water supply systems are now available. In Finland several pilot projects have been conducted based on, for example, ground heating, solar and wind power, pellet heating systems and regional renewable energy based solutions. Until now knowledge on and information about these projects have not been gathered in a systematic way. The thesis aims to answer this demand and to give information gained from these pilot projects.

The thesis also handles the impact of the renewed building regulations in the field of housing production and brings out aspects of other eco-friendly construction. Heating systems, water supply systems, self-sufficient production of electricity and innovative cooling systems have been defined to belong to the scope of the thesis.

Keywords: energy technology, energy sources, renewable source of energy, housebuilding

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkuuettelo.....	7
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO.....	15
2 TYÖN KUVAUS.....	16
2.1 Työn tausta.....	16
2.2 Työn rajausta ja menetelmät.....	17
2.3 Työn rakenne.....	18
2.4 Työn rahoittaja.....	18
3 AURINKOENERGIA.....	19
3.1 Aurinkoenergian tekniset perusteet.....	19
3.2 Eko-Viikin aurinkolämpöjärjestelmät.....	21
3.2.1 SUNH-hankkeen aurinkolämpöjärjestelmä.....	22
3.2.2 Eko-Viikin alueelliset aurinkolämpöjärjestelmät.....	23
3.2.3 Eko-Viikin aurinkolämpökoehankkeista opittua.....	24
3.2.4 Eko-Viikin tekniset huomiot ja parannusehdotukset.....	28
3.3 Asunto Oy Salvian aurinkosähköjärjestelmä.....	30
3.4 Asunto Oy Allinan Helmen aurinkolämpöjärjestelmä.....	33
3.5 Muita aurinkoenergiահankkeita ja sen kehitysnäkymät Suomessa.....	34
4 TUULIVOIMA.....	37
4.1 Tuulivoiman tekniset perusteet.....	37
4.2 Kiinteistö Oy Kummatti.....	40
4.3 Muita tuulivoimalla toteutettuja kohteita.....	40

5 GEOENERGIA.....	42
5.1 Geoenergian käytön perusteet.....	42
5.2 Geoenergia saneeraushankkeissa.....	43
5.2.1 Asunto Oy Taivalkunnantie.....	44
5.2.2 Asunto Oy Rokkalan Viherkeiju.....	44
5.2.3 Muita toteutettuja saneeraushankkeita.....	45
5.3 Toteutettuja maalämpöjärjestelmiä.....	46
5.4 Hybridilämmitysjärjestelmät .....	47
5.4.1 Kiinteistö Oy Vaasan Kustaanportti ja Seinäjoen Honkapuisto.....	47
5.4.2 Lahdet Talot Oy Lanssikadun matalaenergiakerrostalot.....	50
5.4.3 Muita hybridilämmitysjärjestelmäkohteita.....	51
5.5 Energiatekniset innovaatiot maalämmön hyödyntämisessä.....	55
5.6 Sedimenttilämpö.....	56
6 PELLETTILÄMMITYSJÄRJESTELMÄT.....	59
6.1 Pellettilämmitysjärjestelmän perusteet.....	59
6.2 Asunto Oy Nokian Tanhuanpiha ja Kolmiopiha.....	60
6.3 Pientaloalue Nokian Lähdeniitty.....	60
6.4 Asunto Oy Keuruun Ylä-Kivelä.....	61
6.5 Muita toteutettuja kohteita.....	62
7 ALUEELLINEN ENERGIATUOTANTO JA LÄHILÄMPÖVERKOSTOT.....	64
8 UUSIEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSTEN VAIKUTUS ASUNTOTUOTANTOON JA EKOLOGISEN RAKENTAMISEN NÄKÖKOHDAT.....	70
8.1 Uudet rakentamismääräykset ja rakenteiden tutkimus.....	70
8.2 Nollaenergiakohteet Suomessa.....	73
8.3 Ilmastotavoitteet ja sen vaikutus rakentamiseen.....	77
8.4 Rakennusten ympäristöluokitukset.....	78

9 KOHTI TASAPAINOISTETTÄ – ENERGIAATEKNISTEN	
PILOTTIPROJEKTIN KEHITYSTÄ HIDASTAVAT JA EDISTÄVÄT	
TEKIJÄT .....	80
LÄHTEET .....	88

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Aurinkoenergian tuotantomäärä Suomessa.....	21
Kuvio 2. Eko-Viikin aurinkolämpöjärjestelmien toimintakaavio. ....	24
Kuvio 3. Aurinkokeräimen optimaalinen tuotto eri kallistuskulmilla....	26
Kuvio 4. Asunto Oy Salvian parvekekaiteisiin integroidut aurinkopaneelit.....	31
Kuvio 5. Tyhjiöputkikeräimet asunto Oy Allinan Helmen katolla.....	34
Kuvio 6. Kiinteistö Oy Seinäjoen Honkapuisto.....	49
Kuvio 7. Vaisalan uusi pääkonttori.....	52
 Taulukko 1. Eko-Viikin alueellisen aurinkolämpöhankkeen perustiedot .....	23
Taulukko 2. Kaukolämmön kulutus.....	27
Taulukko 3. Aurinkoenergiajärjestelmien tekniset huomiot.....	29
Taulukko 4. Asunto Oy Salvian aurinkosähkön tuotto ja osuus kiinteistösähköstä.....	32
Taulukko 5. Tuuliturbiinin vuosituotantoarvoja.....	38
Taulukko 6. Maalämpöjärjestelmäkohteita.....	46

## Käytetyt termit ja lyhenteet

### Aktiivinen aurinkolämpö

Auringon säteilyn sisältämää energiaa kerätään teknisten laitteiden, kuten aurinkokeräimien avulla käytettäväksi kiinteistön lämmitysjärjestelmissä.

### BAT

Lyhenne tulee englanninkielen sanoista best available techniques. Termillä tarkoitetaan parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa tai parasta käyttökelpoista tekniikkaa. Määritellään Suomen ympäristönsuojelulaissa ja on osa ympäristölupaprosessia.

### Bioenergiakattila

Palotilaltaan öljylämmityskattilaa suurempi lämmityskattilatyyppejä, jonka energialähteenä voidaan käyttää metsähaketta, puupellettiä, brikettiä ja palaturvetta.

### Biomassa

Tarkoittaa eloperäistä jätettä, kuten puuta, hakkuu- ja kasvi- tai eläinperäisiä jätteitä.

### Bruttoneliömetri

Bruttoneliömetri eli bruttoala, jolla kuvataan koko rakennuksen kaikkien kerrosalojen summaa ja täten koko rakennuksen laajuutta. Lyhenne brm<sup>2</sup>.



## **CHP-laitos**

Lyhenne muodostuu englannin kielen sanoista combined, heat and power. Laitoksessa on yhdistetty sähkön ja lämmöntuotanto korkealla hyötysuhteella. Tekniikka voi perustua polttomoottoriin ja kaasuturbiiniin, höyryvoimaan, polttokennotekniikkaan tai välittäjäaineeseen kuten hiili-monoksidiin. CHP-laitos koostuu polttoainekattilasta, turbiinista ja generaattorista.

## **Energiakaava**

Energiakaavassa laaditaan linjaukset alueelliselle energiatehokkuudelle osana normaalia kaavoitusprosessia.

## **Energiapaalujärjestelmä**

Maalämpöä hyödyntävä ratkaisu paaluperustuksen yhteydessä. Keruuputkisto asennetaan suljettuna kiertopiirinä paalutettavan rakennuksen teräs- tai teräsbetonipaalun sisään ja valetaan umpeen betonilla.

## **Energiatehokkuusluokka**

Kuvaa rakennuksen energiatehokkuutta A:sta G:hen ulottuvilla kirjainsymboleilla. Kirjainluokituksella on rakennustyyppin mukaiset viiteraja-arvot. A-kirjain kuvaa parasta mahdollista energiatehokkuusluokkaa ja G-kirjain vastaa vasti huonointa energiatehokkuutta. Nimikkeestä käytetään lyhennettä ET-luku.

## **E-luku**

Kuvaa rakennuksen kokonaisenergiankulutusta vuositasolla kun yksikkönä on kWh/m<sup>2</sup>. Energialuvulle on asetettu uudisrakentamisen osalta Suomen rakentamismääräyskokoelmassa ylärajat.

## **Fluidi**

Tarkoittaa väliainetta, joka on kaasua tai nestettä.

## **Geoenergia**

Kallioperästä, maaperästä tai vesistöstä kerättyä lämmitys- tai jäähdytysenergiaa.

## **Hajautettu matalaenergiaverkko**

Tarvittava energia tuotetaan lähellä kulutuspaikkaa lämmönjaon perustuessa *matalalämpöjärjestelmään*.

## **Hybridijärjestelmä**

Sellainen energiatuotantoratkaisu rakennuksessa, jossa yhdistyy useampi energiatuotannon malli.

## **Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho**

Ominaissähkötehoa kuvataan yksiköllä W/m<sup>3</sup>K ja se kuvaa koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmien kaikkien puhaltimien, niihin kytkettyjen taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden yhteenlaskettua sähköverkosta ottamaa sähkötehoa, joka jaetaan koko järjestelmän mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla. Ilmavirroista va-

litaan suurempi. Tunnetaan myös nimellä SFP-luku lyhenne tulee englanninkielen sanoista Specific Fan Power.

### **Invertteri**

Vaihtosuuntaaja eli laite, joka muuntaa tasavirran vaihtovirraksi.

### **Kerrosala**

Kerrosala lasketaan rakennuksen ulkosienien ulkopinnan mukaan. Ulkoseinäpaksuuden ollessa yli 250 mm ei tätä ylittävää osuutta lasketa kerrosalaan mukaan. Eri kerrosten muodostama kerrosala muodostaa summattuna rakennuksen kerrosalan.

### **Koaksiaaliputki**

Yhdessä putkessa eriteltynä toisistaan kulkeva lämmönkeruunesteen putkityyppi. Kerättäessä lämpöä seos kulkee putken ulkopinnalla olevassa kennostossa ja palaa lämpöpumppuyksiköltä jäähtyneenä putken keskiosassa.

### **Lämmönläpäisykerroin**

Lämmönläpäisykertoimella eli U-arvolla kuvataan lämpövirran tiheyttä, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero eri puolilla rakennusosaa olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen. Lämmönläpäisykertoimen yksikkönä käytetään lyhennettä  $W/m^2K$ .

## **Matalalämpöjärjestelmä**

Matalalämpöjärjestelmällä, tarkoitetaan sellaisia lämmönjakojärjestelmiä, joissa kiertävän *fluidin* lämpötila on radiaattorilämmitysjärjestelmään nähden huomattavasti matalampi. Esimerkiksi lattialämmitysjärjestelmä on matalalämpöjärjestelmä, jossa kiertävän nesteen menoveden lämpötila vaihtelee 30-35 °C:n välillä lämpötilamuutoksen ollessa keskimäärin 5 °C.

## **Mikroturbiini**

Teholtaan teolliseen tuotantoon tarkoitettua turbiinia pienempi laite, joka muuttaa virtaavan aineen energiaa pyörimisenergiaksi, joka edelleen muutetaan sähköenergiaksi. Prosessissa syntyvä lämpö varastoidaan tai otetaan talteen. Väliaineen turbiinissa voi toimia höyry, kaasu, vesi ja tuuli tai muu orgaaninen aines.

## **Nettomittarointi**

Sähkön pientuottaja maksaa sähkön kulutuksesta tuottajalle tuottamansa sähkön ja kuluttamansa sähkön erotuksena. Nettomittarointi voi perustua sähkön määrään, rahalliseen arvoon tai johonkin ajalliseen jaksoon. Tunnetaan myös nimillä nettolaskutus, nettomittaus ja netotus.

## **Nollaenergiatalo**

Kiinteistö, joka tuottaa itsenäisesti uusiutuviin energiatuotannon muotoihin tukeutuen yhtä paljon energiaa kuin se vuodessa kuluttaa.

**Passiivienergiatalo**

Kiinteistö, joka Suomessa sijainnista riippuen kuluttaa vuodessa lämmitysenergiaa 20-30 kWh/m<sup>2</sup> ja omaa arvoa 0,6 pienemmän ilmanvuotoluvun.

**Pelletti**

Puupelletti on puusta valmistettu lämmityskattilan polttoaineena käytetty materiaali. Pelletit valmistetaan puunjalostusteollisuuden sivutuotteista, kuten purusta, puristamalla ne sylinterimäiseen muotoon.

**Pientuulivoimala**

Teholtaan teolliseen sähkön tuotantoon tarkoitettua tuulivoimalaa pienempi. Maksimiteho noin 20 kW:n luokkaa.

**Plusenergiatalo**

Kiinteistö, joka itsenäisesti uusiutuviin energiatuotannon muotoihin tukeutuen tuottaa enemmän energiaa kuin se vuodessa kuluttaa.

**Sedimenttilämpö**

Vesistöihin kerrostuvasta maa-aineksesta eli sedimentistä kerättävää energiaa, joka voidaan käyttää lämpöpumpputekniikan avulla kiinteistön lämmitykseen tai viilennykseen.

**Syöttötariffi**

Syöttötariffissa sähkön tuottajalle maksetaan määräjän mukaan sähkön markkinahinnan tai päästöoikeuden hinnan perusteella tukea sähkön tuotannosta.

**Ultraviolettisäteily**

Eli UV-säteily on sähkömagneettista aallonpituudeltaan lyhyttä säteilyä, jota ihmissilmä ei havaitse. Säteily jaetaan kolmeen osaan, joita ovat UVA-, UVB- ja UVC-säteily. Sen suurin lähde on aurinko.

**Valosähköinen ilmiö**

Sähkömagneettisen säteilyn kyky irrottaa elektroneja pinnoista

## 1 JOHDANTO

Energian tuotannolla on lähtemätön vaikutus ympäristöömme. Sen tuottaminen ja kuluttaminen luonnonvarat ja ympäristön hyvinvointi huomioon ottaen on todellinen haaste. Suomalaisessa talonrakentamisessa on viime vuosien aikana tapahtunut valtavia muutoksia erityisesti rakentamismääräyksissä. Samalla kestävän kehityksen ja vihreiden arvojen nousu rakentamiskulttuurissa on aikaan saanut rohkeita energiateknisiä hankkeita. Nämä hankkeet luovat suuntaviivoja tulevaisuuden energiatuotantoon ja toimivat pohjana tavoiteltaessa kestävämpää tulevaisuutta. Energiateknisten pilottihankkeiden ratkaisut muodostavat kirjavan joukon järjestelmiä, joiden toteutusta ja tuloksia käsitellään tässä työssä.

## 2 TYÖN KUVAUS

### 2.1 Työn tausta

Eri energianäkökohtien esiin nouseminen rakentamisessa on tuottanut useita erilaisia koerakentamishankkeita. Energiatehokkuuden parantamisen ja kestävän kehityksen periaatteiden huomiointi yhdessä uusittujen suomalaisten rakentamismääräysten kanssa on luonut voimakkaan tarvepohjan uusille energiateknisille ratkaisuille talonrakentamisen piirissä. Samalla nykyrakentamiskulttuurissa otetaan huomioon yhä useammin myös tulevaisuuden tavoitteet, kuten hiilineutraali yhdyskunta ja nollaenergiatason saavuttamisen mahdollisuus vuoteen 2020 mennessä. Alan tutkimusta ja kehityshankkeita tehdään laajasti eri tahojen toimesta aina yritystasolta valtakunnallisiin selvityshankkeisiin asti. Rakentamisessa käytetty tavanomaisesta poikkeava energiatekniikka ja kokemukset siitä ovat näin ollen eri toimijoiden aikaansaama tuotos, joiden tuloksia tai kokemuksia ei kerätä määrätietoisesti yhteen. Alan hajanaisuus johtaa täten myös tiedon ja hyväksi todettujen käytäntöjen puutteeseen uusia hankkeita suunniteltaessa. Tämän työn tarkoitus on tarjota kattava läpileikkaus toteutetuista energiateknisistä pilottiprojekteista ja järjestelmien toimintaikä huomioon ottaen niiden toimivuudesta ja aikaansaaduista mahdollisista säästöistä. Vuoden 2012 maaliskuussa Suomen ympäristökeskus on avannut HINKUmappi-verkkopalvelun, jonne kerätään tietoa energiatehokkuuden ja hajautetun sekä uusiutuvan energiantuotannon hankkeista. Palvelun käyttäjät tuottavat itse materiaalin verkkopalveluun, jonka pääasiallisena tarkoituksena on kerätä ja suoda mahdollisuus jakaa tietoa erityyppisistä ilmastoteoista. Suomen ympäristökeskuksen tiedotteen mukaan verkkopalvelulla pyritään vastaamaan kasvaneeseen kysyntään saada konkreettista tietoa toteutuneista hankkeista. Verkkopalvelun tarve osoittaa toteen myös tämän opinnäytetyön tarpeellisuuden useille eri ryhmille olivat kyseessä sitten rakennuttajat tai rakentajat. Samoin työn



tarpeellisuutta tukee Suomen itsenäisyyden juhlarahaston eli Sitran tuottama Saisiko olla lähienergiapalveluja? -kyselytutkimus, jossa on nähtävillä selvä tarve uusille lämmityksen ratkaisuille tai energiatehokkuutta parantaville toimille. Tässä työssä esitellään useita uusia lämmitysratkaisutapoja, mutta käsitellään myös tekniikan toimivuutta ja tavoitettuja hyötyjä taloudellisesta näkökulmasta. Työ pohjautuu täysin saavutettuihin tuloksiin ja toteutettuihin järjestelmäratkaisuihin, jolloin ratkaisujen pohjalta voidaan luotettavasti muodostaa riittävän kattava mielikuva energiateknisten pilottiprojektien toimivuudesta käytännössä. Parhaimmillaan opinnäytetyö toimii tiedon välityksen näkökulmasta ja toivottavasti rohkaisten sekä ohjaten uusia hankkeita käyttämään energiatekniikassa rohkeampia ratkaisuja.

## **2.2 Työn raja- ja menetelmät**

Opinnäytetyö käsittelee suomalaisen talonrakentamisen alalla toteutettuja energiateknisiä pilottiprojekteja. Työ on rajattu käsittämään tiedon hankinnassa vuosina 2008–2011 toteutettuja aihealueeseen lukeutuvia hankkeita. Pää tavoitteena on ollut hankkeiden kartoitus ja niiden arviointi rakennustekniikan alan kotimaisten lehtien sisällön rajatessa aihealueen.

Opinnäytetyön pohja-aineisto on kerätty tukeutuen rakennustekniikan kotimaisten lehtien sisältöön. Pohja-aineiston perusteella kohteista on hankittu lisätietoa käyttäen hyödyksi internethakukoneita ja -sivustoja, sähköpostia ja puhelinkeskustelua. Työn lähteissä on pyritty käyttämään mahdollisimman paljon alkuperäisten lehtipainosten sijasta verkkojulkaisuja niiden kattavan saatavuuden vuoksi. Pohjamateriaalin ja kohteesta kerättyjen lisätietojen pohjalta hankkeiden tuloksia tarkastellaan energiatuotantotyypeittäin. Poikkeuksena tiedon keruuvuosien rajaukseen toimii Eko-Viikki-hankkeena tunnettu aurinkoenergian hyödyntämisen pilottihanke, jonka rakentaminen on toteutettu vuosina 2000–2004. Hankkeen merkitys kyseessä olevalle energiamuodolle oli niin merkittävä, että kohteita ei voida mielekkäästi

rajata tarkastelun ulkopuolelle. Vielä tätä kirjoittaessakin Eko-Viikin koerakentamishanke on Suomessa suurin toteutettu aurinkoenergiaa hyödyntävä asuntorakentamisen koe- ja kehittämishanke. Työssä on myös huomioitu alueellisen energiatuotannon yleistymisen sekä uusien rakentamismääräysten vaikutus talonrakentamiseen että muut oleelliset ekologisen rakentamisen näkökohdat, kuten ilmastotavoitteiden vaikutus ja niiden näkyvyys rakentamisessa.

### **2.3 Työn rakenne**

Työ koostuu energiantuotantoalueittain jaetuista kappaleista. Kunkin energiantuotantomuodon alussa kuvataan kyseessä olevan energian tuotantomuodon perustiedot, siihen liittyvä teoria ja sen käytön yleisyys Suomessa.

### **2.4 Työn rahoittaja**

Opinnäytetyö on saanut rahoitusta Asuntorakentamisen Kehityssäätiöltä. Asuntorakentamisen Kehityssäätiön tavoitteena on edistää asumisen ja asuntorakentamisen tutkimusta sekä toimia rakentamisen laatua ja teknistä osaamista kehittävästi. Tarkoitusta toteutetaan tukemalla ja harjoittamalla asuntorakentamisen piirissä tapahtuvaa tutkimus- ja kehitystyötä. Säätiö voi osallistua tavoitteidensa mukaisesti myös rakennuttamishankkeiden toteutuksen seurantaan, erityisesti silloin kun hanke toteutetaan kestävän kehityksen tavoitteiden mukaisesti. Asuntorakentamisen Kehityssäätiön hallitukseen muodostavat hallituksen puheenjohtaja Antti Viinikka, hallituksen varapuheenjohtaja Veikko Siltanen ja hallituksen jäsen Seppo Ylinen. Säätiön asiamiehenä toimii Suvi Liukku. Säätiön tuella on toteutettu tämä rakennustekniikan alan yleishyödyllinen opinnäytetyö. (Liukku 2012).

## 3 AURINKOENERGIA

### 3.1 Aurinkoenergian tekniset perusteet

Uusiutuviin energialähteisiin lukeutuvaa aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää kahdella tavalla, joko käyttämällä aurinkosäteilyn sisältämää energiaa lämmitykseen tai *valosähköisen ilmiön* kautta sähköön tuotantoon. Kun aurinkoenergiaa käytetään lämmityksen yhteydessä puhutaan *aktiivisesta aurinkolämmöstä*, jossa säteilyn sisältämä energia otetaan talteen aurinkokeräimillä tai tyhjiöputkikeräimillä. Aurinkolämmitysjärjestelmiä käytetään pääasiallisesti käyttöveden lämmittämisen yhteydessä, mutta ne soveltuvat myös liitettäväksi huonelämmitykseen, erityisesti *matalalämpöjärjestelmään*. Aurinkolämpöjärjestelmässä keräimen sisällä oleva väliaine lämpenee absorboidessaan auringonsäteilyä. Väliaineeseen siirtynyt lämpöenergia kuljetetaan pumppausyksikön ja lämmönsiirtimen avulla tyypillisesti varaajaan tai suoraan kulutukseen. Aurinkolämpöjärjestelmistä saatava energian määrä vaihtelee vuoden ajan ja sään mukaan. Yhden neliömetrin aurinkokeräin tuottaa Suomessa tyypillisesti 250–400 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa ja tyhjiöputkikeräin keskimäärin 30 % tätä enemmän, jolloin vuosituotto vaihtelee välillä 325–520 kWh/m<sup>2</sup> (Aurinkokeräimet 2011; Tyhjiöputkikeräimet [viitattu 11.06.2012]). Käytettäessä aurinkolämpöä käyttöveden tuottamiseen on vuosituotto 300–400 kWh/m<sup>2</sup> ja uudella teknologialla on arveltu energian vuosituoton olevan 500 kWh/m<sup>2</sup>:n luokkaa (Aurinkoenergia Suomen olosuhteissa 2001, 11). Aurinkolämpöjärjestelmästä saatavaan tehoon vaikuttavat aurinkokeräimien tyyppi, keräimien asennuskulma, asennuspaikka ja keräimien pinta-ala sekä varaajan koko.

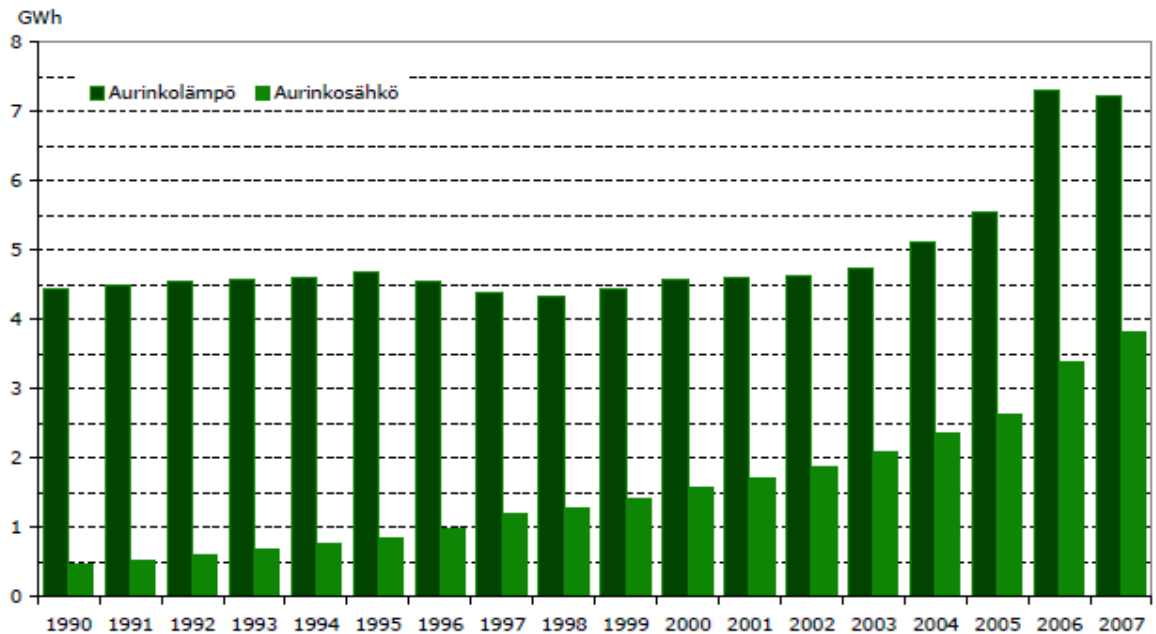
Valosähköisen ilmiön avulla auringon säteilyn sisältämää energiaa voidaan aktiivisesti hyödyntää myös sähköön tuotantoon. Tällöin puhutaan aurinkosähköjärjestelmistä, jotka koostuvat aurinkopaneeleista. Aurinkopaneelit muodostuvat sarjaan kytketyistä aurinkokennoista, jotka valmistetaan kahdesta atomien varauksien suh-

teen erilaisesta puolijohdemateriaalista. Auringonsäteilyn sisältämien fotonien osuessa kennon pintaan irtoaa puolijohteesta elektroneja, jotka siirtyvät kennon rajapinnan yli. Tämän ilmiön takia kennoon muodostuu sisäisen sähkökenttä. Aurinkopaneelien näin muodostama tasasähkö voidaan muuttaa vaihtosuuntaajalla eli *invertterillä* kiinteistöissä hyödynnettäväksi 230 V vaihtosähköksi. Aurinkosähköjärjestelmä kytketään joko valtakunnalliseen sähköverkkoon tai järjestelmän omaan akustoon energian varaamiseksi. Aurinkopaneelin vuosituottoa kuvataan paneelin nimellistehon ja huipunkäyttöajan kautta. Yhden aurinkopaneelin nimellisteho on tyypillisesti 50–200 W (Auringosta lämpöä ja sähköä, [viitattu 24.2.2012]). Huipunkäyttöaika puolestaan esimerkiksi Tampereella optimaalisesti suunnatulle aurinkopaneelille on 1095 tuntia (Flinck 2010, 20). Tämä tarkoittaa sitä, että vuodessa nimellisteholtaan 0,2 kW:n aurinkopaneeli tuottaisi sähköä 219 kWh. Aurinkosähköjärjestelmästä saatavaan tuottoon vaikuttaa paitsi aurinkopaneelin nimellisteho myös sen asennuskulma ja -paikka sekä aurinkopaneelien pinta-ala. Harkittaessa aurinkoenergian hyödyntämistä tulisi hankkeen luvanvaraisuus aina tarkistaa alueen rakennusvalvontaviranomaiselta, sillä käytäntö luvanvaraisuudesta vaihtelee alueittain rakentamismääräysten mukaisesti.

Aurinkoenergian hyödyntäminen kiinteistössä alentaa lämmityksen tai ilmastoinnin kokonaiskustannuksia. Järjestelmien hyödyt tulevat parhaiten esiin, ainakin vielä toistaiseksi, yhdistettynä toiseen järjestelmään oli kyse sitten sähkön tuotannosta tai kiinteistön lämmityksestä. Aurinkolämpöä tai -sähköä voidaan hyödyntää myös niin kutsutuissa *hybridijärjestelmissä*, jotka ovat usean eri energiateknisen ratkaisun yhdistelmiä. Näitä hybridijärjestelmiä käsitellään tarkemmin kappaleessa 4.2 ja 5.4 sekä 6.4 pääenergiatuotantomuodon mukaisesti jaoteltuina.

Aurinkoenergian osuus on kokonaisenergiankulutuksesta tilastollisesti tarkasteltuna häviävän pieni. Vuoden 2010 kokonaisenergiankulutuksesta tuotettiin uusiutuvilla energialähteillä 27 %, josta aurinkoenergian osuus oli vain 0,01 % (Uusiutuvan energian käyttö Suomessa, [viitattu 25.11.2012]). Vuosien 1990 ja 2007 väli-

senä aikana sekä aurinkolämmön että -sähkön tuotanto on jatkanut tasaista kasvuaan, kuten kuviosta 1. voidaan todeta (Uusiutuvan energian trendit Suomessa 2009, 22). Aurinkoenergiaan liittyvien tekniikoiden kehittyessä ja teknisten komponenttien tuotannon halvetessa sen arvellaan kasvavan vielä voimakkaammin.



Kuvio 1. Aurinkoenergian tuotantomäärä Suomessa.  
(Uusiutuvan energian trendit 2009, 22.)

### 3.2 Eko-Viikin aurinkolämpöjärjestelmät

Helsingin Latokartanon eteläiseen osaan toteutettiin vuosien 2000-2004 aikana laaja koerakentamishanke, joka tunnetaan parhaiten nimellä Eko-Viikki. Laajaan hankkeeseen lukeutui kaksi aurinkolämpöön perustuvaa hanketta, joita tuettiin Euroopan Unionin ja Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskuksen (TEKES) taholta. Eko-Viikissä on yhteensä kymmenen kiinteistöä, jotka on varustettu aurinkolämpöjärjestelmällä (Eko-Viikki seurantaprojektin loppuraportti 2004, 18). Solar Urban New Housing -hanke koostuu yhdestä kerrostalosta ja kahdesta rivitalosta

palvellen yhteensä 44 asuntoa. Se on osa Euroopan Unionin Urban New Housing (SUNH) Thermie 96 -ohjelmaa. Yhdeksän muuta kiinteistöä kuuluvat alueelliseen aurinkolämpöhankkeeseen, joiden kautta pyrittiin kehittämään ja esittelemään aurinkolämpökeräinten integrointia rakenteisiin. Alueellisesta kokeilusta huolimatta aurinkokeräintyytit ja järjestelmien tekniset ratkaisut ovat kiinteistökohtaisia ja ne palvelevat yhteensä 368 asuntoa. Alueellisen aurinkolämpöhankkeen alkuperäistavoitteena oli tuottaa lämmitysenergian suhteen 35–40 %:in omavaraisuusaste ja SUNH-hankkeen tavoitteena oli tuottaa käyttöveden vuotuisesta energiantarpeesta 40–50 % aurinkokeräinten avulla.

### **3.2.1 SUNH-hankkeen aurinkolämpöjärjestelmä**

SUNH-hankkeen kiinteistöjen päälämmönlähteenä on kaukolämpö, johon on yhdistetty aurinkolämpöjärjestelmä. Aurinkoenergiaa hyödynnetään sekä käyttöveden lämmitykseen että lämmitysjärjestelmän lämmönlähteenä. Aurinkolämpö ohjataan kohteessa käyttöveden lämmityksen lisäksi märkätilojen lattialämmityspiiriin, joka on toteutettu ilman eristystä. SUNH-kohteissa on suoritettu laajaa seurantaa energiamittauksen ja aurinkojärjestelmän toimivuudesta ja muista kulutustiedoista. Hankkeen bruttoala on 4 505 m<sup>2</sup>, johon on liitetty 157 m<sup>2</sup> aurinkokeräimiä. Järjestelmä käsittää kaksi energiavaraajaa, joiden yhteistilavuus on 18 m<sup>3</sup>. Kohteen kaukolämmönkulutus sääkorjattuna oli vuotena 2002 99 kWh/brm<sup>2</sup> ja 2003 vuonna energiaa kului 100 kWh/brm<sup>2</sup>. Keräimien keskimääräisen vuosituoton ollessa 53 MWh/a saadaan kohteen lämpöenergian tarpeeksi likimain 500 MWh, josta aurinkoenergian osuus on 10 %:n luokkaa. Rakennuttajan asettama tavoite kaukolämmöntarpeelle oli kohteessa 52 kWh/brm<sup>2</sup>. Täten tavoitetason ja mitatun kaukolämmönkulutuksen erotus on likimain 53 %. Rakennuttajan edustajan mukaan järjestelmän elinkaarituo-  
tot kattavat likimäärin investointikustannukset ja sen hetkiseen uudisrakennuskantaan nähden säästöä energiankulutuksessa on syntynyt yli 30 % (Hautakangas 2002).

### 3.2.2 Eko-Viikin alueelliset aurinkolämpöjärjestelmät

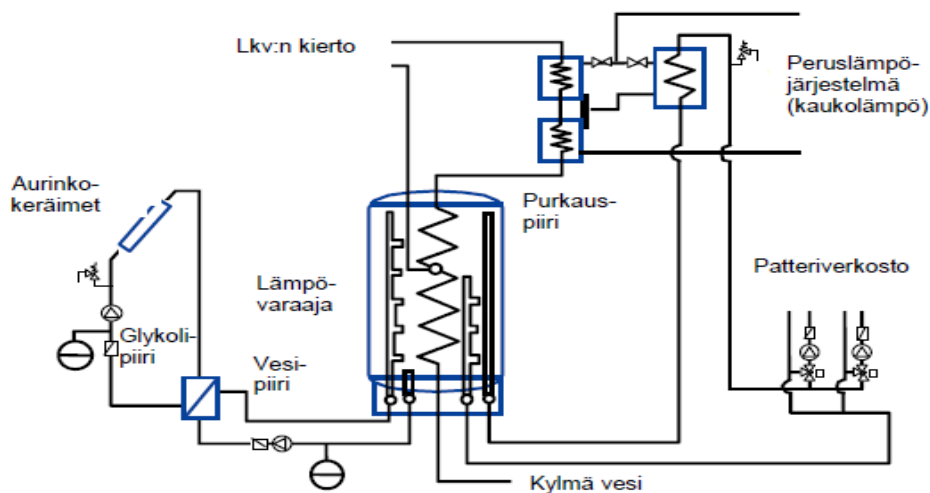
Eko-Viikin alueellisen aurinkolämpöprojektin yhteenlaskettu bruttoala on likimain 36 000 m<sup>2</sup>, joka käsittää yhteensä 368 asuntoa. Projektin keräinpinta-ala on 1 248 m<sup>2</sup> ja energiavaraajien yhteistilavuus 73 m<sup>3</sup>. Aurinkolämpöjärjestelmät ovat enimmäkseen integroitu vesikaton rakenteisiin, mutta yhdessä kohteessa keräimet toimivat talousrakennuksen kattona. Pää tavoitteena hankkeella oli kokeilla eri katto- kaltevuuksia, integrointiratkaisuja, keräinpinta-aloja ja järjestelmien kokoonpano- ratkaisuja. Hanketta koordinoi Solpros Ay. Alla olevassa taulukossa 1. on esitetty kohteiden perustiedot.

Taulukko 1. Eko-Viikin alueellisen aurinkolämpöhankkeen perustiedot

Katuosoite	Asuntoja (kpl)	Pinta-ala (brm2)	Keräinpinta-ala (brm2)	Varaaja (m3)
Tilanhoitajankaari 30	38	3889	120	60,0
Tilanhoitajankaari 28	87	8265	248	12,5
Tilanhoitajankaari 22	63	6209	212	12,5
Nuppukuja 3	31	2781	116	10,0
Nuppukuja 4	31	2781	220	14,5
Nuppukuja 6	26	2700	80	4,5
Norkkokuja 3 & 4	61	6364	172	8,5
Versokuja 3	31	2636	80	4,5

Hankkeen odotettiin tuottavan bruttolämpöä vuositasolla 350 kWh/keräin-m<sup>2</sup> tai 40 % lämpimän käyttöveden energiatarpeesta. Keräinten absorptiopinta on selektiivinen ja sen virtaavan *fluidin* normaali toimintalämpötila on 60–80 °C. Ilman vesikiertoa fluidin lämpötila saattaa kuitenkin saavuttaa 150 °C:n lämpötilan (Ekoviikin EU-aurinkolämpöjärjestelmien jatkoseuranta 2004, 6). Tästä syystä järjestelmien paisunta-astioiden kokoa on normaalimitoitukseen nähden suurennettu. Aurinkokeräimet on kaikissa kohteissa asennettu 20–40 asteen kallistuskulmaan ja suunnattu etelään. Järjestelmien on raportoitu toimineen moitteettomasti vuosina 1999–2004. Järjestelmän perusratkaisu esitetään kuviossa 2. Lämpimän käyttöveden kiertoa ei

ole liitetty varaajaan normaalikäytössä, vaan kierto voidaan liittää varaajaan avaamalla erillinen sulkuventtiili. Ratkaisulla estetään energiavaraajan liiallinen lämpötilan nousu ja parannetaan näin keräinten tuottavuutta.



Kuvio 2. Eko-Viikin aurinkolämpöjärjestelmien toimintakaavio.  
(Eko-Viikin EU-aurinkolämpöjärjestelmien jatkoseuranta 2004, 7.)

Aurinkolämpöjärjestelmät täyttävät kohtalaisesti odotusarvon 350 kWh/keräin-m<sup>2</sup>/a. Energiantuotto on mittausten mukaan vaihdellut välillä 140–395 kWh/keräin-m<sup>2</sup>/a. Ratkaisuilla on saavutettu vajaat 10 %:n tuotto suhteutettuna koko lämmitystarpeeseen alueella ja kohteesta riippuen 3–10 % vuotuisesta kokonaisenergian tarpeesta. (Ekoviikin EU-aurinkolämpöjärjestelmien jatkoseuranta 2004, 26; Hakaste, Rinne & Jalo 2008, 27).

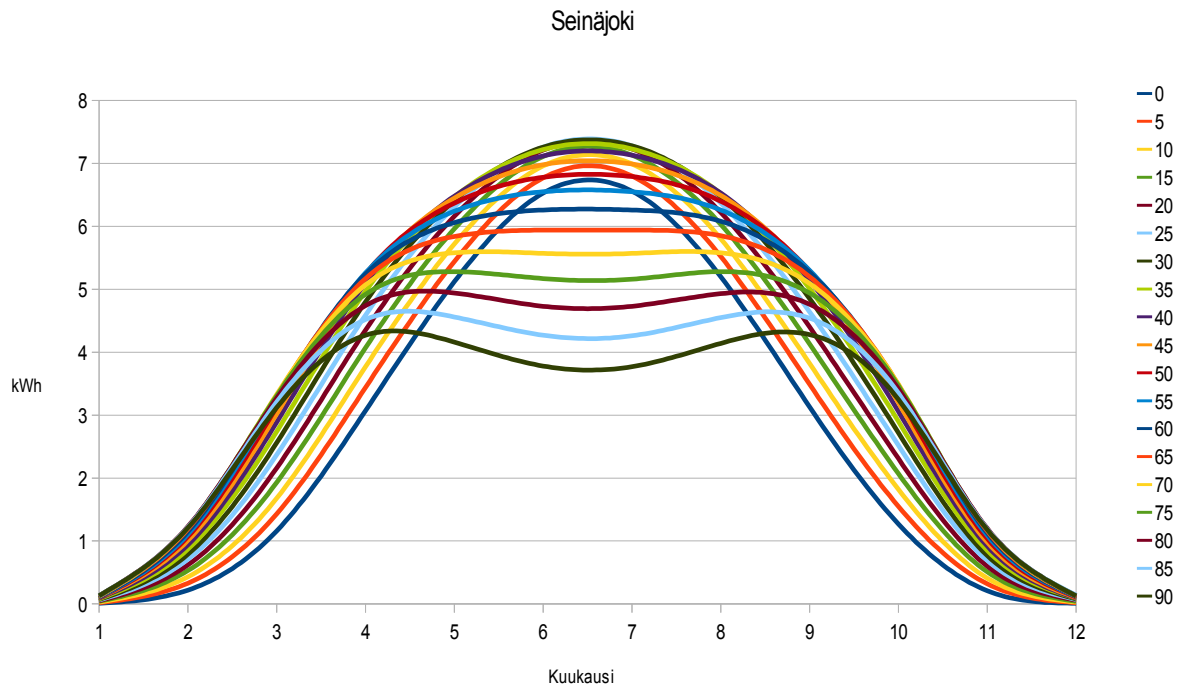
### 3.2.3 Eko-Viikin aurinkolämpökoehankkeista opittua

Eko-Viikissä toteutetut aurinkolämpöhankeet ovat laajuudessaan Suomen kattavin aurinkolämmön koehanke asuntorakentamisen alalla. Toteutettujen järjestelmien välillä kohdekohtainen tuottavuushajonta on 5–25 %:n luokkaa. Hajonnan on päätelty johtuvan pääasiassa mitoituksista suhteessa tarvittavaan lämpökuor-



maan. Joissakin kohteissa jälkikäteen tehdyt säätö- ja kytkentätyöt ovat parantaneet järjestelmien tuottavuutta. Suurin osa aurinkolämmöstä tuotetaan alueella helmi- ja lokakuun välillä ja 55–60 % siitä tuotetaan kesäkauden ulkopuolella. Aurinkolämmön osuus kaikesta lämmöstä on vaihdellut kiinteistöissä 5 %:n ja 25 %:n välillä. Vastaavasti käyttöveden lämmitykseen tarvittavasta energiasta on aurinkolämmöllä tuotettu 15–75 %.

Keräinten jyrkemmän kallistuskulman on havaittu vaikuttavan lämpimän käyttöveden kulutushuippuja tasaavasti. Optimaalisimmat kallistuskulmat 30–60 asteen välillä tuottavat suurimman osan lämmöstä kesäkaudella, jolloin lämpimän käyttöveden kulutus ei vaikuttaisi olevan yhtä suurta kuin keväällä ja syksyllä. Tästä syystä myös jyrkemmät kallistuskulmat 55–70 asteen välillä saattaisivat oikein mitoitettuna tasata kulutushuippuja ja parantaa aurinkolämpöjärjestelmän hyötysuhdetta. Simuloitaessa Seinäjoen leveys- ja pituusasteille aurinkokeräinten tuottoa voidaan selvästi havaita jyrkemmän kallistuskulman tuottavan tasaisemmin lämpöä erityisesti kevät- ja syyskaudella. Kuviossa 3. simuloitu aurinkokeräimen tuottavuus kuvaa auringon suoran säteilyn määrää hyötysuhteen ollessa yksi ja keräimen suunnan ollessa etelään sekä aktiivisen pinta-alan ollessa yhden neliön suuruinen.



Kuvio 3. Aurinkokeräimen optimaalinen tuotto eri kallistuskulmilla.

Aurinkolämmön suhteellisen tuoton on todettu putoavan isoilla keräinpinta-aloilla lämpötilatasojen noustessa. Tuoton menetyistä voidaan osittain korvata energiavaraajaa suurentamalla. Sen on todettu aiheuttavan myös varaajan ja järjestelmän ylikuumenemisvaaran. Eritoten ongelma ilmenee kohteissa, joissa aurinkolämpö on alun perin suunniteltu liitettäväksi sekä käyttövesi- että lämmityspiiriin.

Lämmityspiirien kanssa kohdatut ongelmat ovat johtaneet siihen, että järjestelmä on poiskytetty aurinkolämpöpiiristä kokonaan ja näin ollen aurinkolämpöjärjestelmä on suhteessa liian suuri pelkän käyttöveden lämpökuormaan nähden. Vuoden 2009 aikana tehtyjen havaintojen perusteella oli yksi järjestelmästä kytketty kokonaan pois päältä toimintaongelmien vuoksi ja useissa kohteissa lattialämmityspiiri oli kytketty pois aurinkolämpöjärjestelmän piiristä. (Johansson 2009, 6). Vuosina 2003–2008 mitatut kaukolämpökulutusarvot ovat kuitenkin huomattavasti Helsingin keskiarvokulutusta alempana, kuten taulukosta 2. nähdään. Kulutuksissa on

huomioitava joidenkin aurinkolämpöjärjestelmien epävakaata toimintaa ja järjestelmän poiskytkennän vaikutus keskiarvoon.

Taulukko 2. Kaukolämmön kulutus.

2003 – 2008	kWh/m <sup>3</sup>
Helsingin keskiarvo	47,5-40,0
Eko-Viikin kiinteistöt ilman aurinkolämpöä, keskiarvo	35,0-32,5
Eko-Viikin kiinteistöt aurinkolämmöllä, keskiarvo	40,0-35,0

Niissä Eko-Viikin kiinteistöissä, joissa on käytetty aurinkolämpöjärjestelmän lisäksi myös muita energiasäästötoimenpiteitä on saavutettu suurin säästö lämpöenergiankulutuksessa.

Eko-Viikissä käytetyt keräimet ja järjestelmät on valmistettu Itävallassa ja tästä syystä niiden käyttöoppaat ja ohjauspaneeli ovat olleet saksankielisiä. Lisäksi lämmönjakohuoneisiin on toimitettu suomenkieliset ohjeet, mutta tästäkin huolimatta joissakin kiinteistöissä on ollut ongelmia järjestelmien käytön kanssa. Eko-Viikin myötä on tultu siihen lopputulokseen, että isännöitsijöille ja huoltohenkilökunnalle on pidettävä kattava perehdytysjakso aurinkolämpöjärjestelmän käyttöön. Vuoden 2009 kartoituksen mukaan huoltohenkilökunnalla ei ollut riittävää pätevyyttä aurinkolämpöjärjestelmän asianmukaisen hoitoon. Samoin puutteita todettiin koehankkeen alussakin järjestelmien asentajien taidoissa, eritoten lämmön purkamisen kytkennät olivat paikoin suunnitelmien vastaisia. Järjestelmien ohjaus perustuu useiden eri lämpötila-antureiden mittaustietoihin. Varaajan lämpötila-anturi on koh-teissa sijoitettu varaajan yläosan putkistoon eikä varaajan yläosaan. Sijoitus vaikuttaa ratkaisevasti ohjausjärjestelmän toimivuuteen ja aurinkolämmöstä saata-

vaan hyötyyn. Myös ohjausjärjestelmän ja järjestelmän komponenttien yhtenäisyydessä havaittiin epäkohtia, jotka vaikeuttivat järjestelmien tulkintaa.

Yksinkertaisimmat aurinkolämpöjärjestelmät vaikuttaisivat Eko-Viikin kokemusten valossa kestävyydeltään, tuottavuudeltaan ja toimintavarmuudeltaan olevan paras ratkaisu. Järjestelmät ovat tällöin myös vaatimattomampia hoitaa, mikä helpottaa huoltohenkilökunnan toimintaa ja vähentää huoltokustannuksia. Aurinkolämmön on todettu sopivan erityisesti kaukolämmön yhteydessä käytettäväksi, vaikka kaukolämmön paluulämpötila toisiopuolelta ensiöpuolelle onkin tuolloin hieman korkeampi. Tuottavuuden suhteen on myös huomattava, että Eko-Viikissä käytetyt keräimet ovat kaikki tyypiltään tasokeräimiä, joiden tuottavuus nykyteknologian valossa on selvästi huonompi kuin esimerkiksi tyhjiöputkikeräimien.

#### **3.2.4 Eko-Viikin tekniset huomiot ja parannusehdotukset**

Eko-Viikin koehankkeen myötä aurinkolämmöstä on kertynyt valtavasti tietoa. Soveltamalla uutta tietoa ja välttämällä Eko-Viikissä tehtyjä teknisiä virheitä saataisiin aurinkolämmön tuottavuus kannattavalle tasolle Suomen olosuhteissa. Koehankkeessa kohdatut vastoinkäymiset antoivat kuitenkin aurinkolämmölle mediassakin asti negatiivisen leiman (Malve-Tamminen 2009). Taulukossa 3. esitetään Eko-Viikistä saadut tekniset kokemukset, joista tärkeimpinä mainittakoon keräinten ilmausruuvien vaikea sijainti sekä säätöventtiilien että ohjausjärjestelmien käytettävyyden.

Taulukko 3. Aurinkoenergiajärjestelmien tekniset huomiot.

Keräinten ilmaus	Keräinten ilmausruuvit sijoitettu välikatolle, ilmaus hoidetaan ohittamalla keräinpumppu. Automaation puute.
Siirtoputkisto	Venttiilin vuoto.
Lämpimän käyttöveden kierto	Käytettävyys hankala. Vaatii kahden venttiilin manuaalisen säädön. Automaation puute.
Ohjausjärjestelmä	Käyttäjystävällisyyden puute. Lämpötila-antureiden sijoitus.
Ylijäämälämpö	Ylijäämälämpöä ei voida hyödyntää. Ei lämmön syöttämistä kaukolämpöverkkoon.
Kaukolämmön käyttö	Kaukolämmön syöttötehon vaihtelevuus. Varaajien kapasiteettia ei ole hyödynnetty täysin. Ongelma ilmenee talvisin kovilla pakkasilla.

Eko-Viikin aurinkolämmöllä on saavutettu noin 10 %:n osuus koko lämmöntarpeesta. Muuttamalla mitoitusperusteita arvellaan, että saavutettaisiin 20–25 %:n tuotto. Eko-Viikin aurinkolämpöjärjestelmät on mitoitettu 3–4 keräinneliötä asuntoa kohden ja varaajat käyttämällä arvoa 50–60 l/keräin-m<sup>2</sup>. Muuttamalla nämä arvot kaksikertaisiksi saavutettaisiin suurempi tuotto. Tämä vaatii kuitenkin lämmönjakohuoneissa laitteiden tilantarpeen tarkistamista. Erityisesti järjestelmän automaatio-ohjaus vaati kehitystä. Esimerkiksi kesällä aurinkolämpöä ei voida automaattisesti kytkeä lämpimän veden kiertoputkistoon. Myös aurinkolämmön purkaminen vesi-varaajasta käyttöön sekä järjestelmän kytkentätavat tulisi ottaa huomioon. Järjestelmän toimintaa tehostaisivat säätyvät pumput ja varaajan kerrostuneisuuden parantaminen. Muilta osin erityisen tärkeäksi on havaittu huoltohenkilöstön koulutus aurinkolämpöjärjestelmien käyttöön, jolla varmennettaisiin järjestelmän pitkäaikainen toimivuus, minimissään 20 vuotta.

### 3.3 Asunto Oy Salvian aurinkosähköjärjestelmä

Asunto Oy Salvian aurinkosähköjärjestelmä on toteutettu osana Eko-Viikin koerakentamishanketta. Erillisenä hankkeena toteutettu aurinkosähkötalo oli osa EU:n PV–Nord-hanketta. YIT:n rakennuttama kohde valmistui vuonna 2003 käsittäen 39 asuntoa ja ollen bruttoalaltaan 3 136 m<sup>2</sup> suuruinen. Valmistuessaan rakennus oli Suomen ensimmäinen aurinkosähköä hyödyntävä kerrostalo, jonka tavoitteena oli tuottaa 20 % kohteen kiinteistösähköstä.

Aurinkosähköjärjestelmää lähdettiin suunnittelemaan aivan suunnitteluvaiheen lopussa ja koska järjestelmä haluttiin toteuttaa rakenteisiin integroimalla edellytti se tuotekehitystä olemassa olevien järjestelmien puuttuessa (Lundgren & Torstensson 2004, 5–6). Täten NAPS Systems Oy yhdessä parvekejulkisivuvalmistaja Lumon Oy:n kanssa kehittävät kohteessa käytetyn teknisen ratkaisun. Arkkitehdin alkuperäisenä toiveena oli saada säännönmukaisia rivejä aurinkopaneeleista koko parvekejulkisivun mitalle. Teknisten ongelmien vuoksi kohteessa kuitenkin päädyttiin sinisiin monikiteisestä piistä valmistettuihin aurinkokennoihin, jotka olivat koolta 10 x 10 cm. Aurinkosähkökennot integroitiin parvekekaiteisiin laminoimalla ne kaidelasin sisälle, kuten kuvioista 4. nähdään. Menetelmällä saatiin vähennettyä kennojen takaosan ylikuumenemista ja vähennettyä lämpösäteilyn määrää. Kaikki kohteen aurinkopaneelit on asennettu pystysuoraan ja tämän vuoksi tuotantohuippu osuukin keskimääräisesti maaliskuulle, jolloin lumen heijastus lisää tuotantoa. Rakennuttajan taloudelliset raamit määrittivät kohteessa käytettyjen paneelien kokonaismäärän. Rahoituksen puutteen vuoksi paneeleja on asennettu rakennuksen eteläiselle ja läntiselle julkisivulle, toisen ja seitsemännen kerroksen parvekkeisiin kolmion mallisesti. Koska paneeleja ei ole asennettu kaikkiin parvekkeisiin on tilanne aiheuttanut sen, että osa asukkaista on asentanut oman näkösuojan parvekkeelleen. Yleisesti ottaen asukkaat ovat kuitenkin suhtautuneet aurinkosähköjärjestelmään myönteisesti (Flinck 2010, 6–7).



Kuvio 4. Asunto Oy Salvian parvekekaiteisiin integroidut aurinkopaneelit.  
(Helsingin energia, kuvapankki [viitattu 05.12.2012].)

Kokonaisuudessaan järjestelmän pinta-ala on  $240 \text{ m}^2$  kapasiteetin ollessa 24 kW. Asennustavasta johtuen sen yhtäläinen teho jää kuitenkin 12 kW:iin. Aurinkopaneeleista kertyvä tasavirta muutetaan invertterillä vaihtovirraksi ja syötetään kulutukseen tai yleiseen sähköjakeluverkkoon tuotannon ylittäessä kulutuksen. Asunto Oy Salvian sähköntuotantoa on seurattu vuodesta 2003 lähtien. Toteutuneita tuotantoarvoja esitellään tarkemmin taulukossa 4. Vuositasolla järjestelmä tuottaa 20–25 % koko rakennuksen kiinteistösähköstä (Karjalainen 2007, 13). Täten on selvää, että järjestelmällä saavutettiin asetettu 20 %:n tavoite.

Taulukko 4. Asunto Oy Salvian aurinkosähkön tuotto ja osuus kiinteistösähköstä.

	2008		2009		2010		2011	
	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%
tammikuu	140	3,2	250	5,7	320	7,8	130	3,3
helmikuu	380	9,6	590	15,7	550	15,7	790	21,9
maaliskuu	1860	21,6	1060	26,2	1400	38	1030	27,4
huhtikuu	1370	37,8	1620	45,6	1260	38,4	1080	32,3
toukokuu	1840	50,6	1960	52,2	1670	47,4	1340	39,2
kesäkuu	1450	42,7	1640	40,8	1620	47,6	1390	40,5
heinäkuu	760	48,8	1810	42,7	1710	43	1270	34,2
elokuu	950	25,7	1610	40,9	1170	29,4	1060	28,5
syyskuu	890	24,4	1280	33,7	650	18,3	610	17
lokakuu	610	14,7	770	18,2	680	14	500	13,2
marraskuu	230	5,4	120	2,9	170	4,3	120	3
joulukuu	60	1,4	80	1,7	40	1,12	40	0,9
<b>Yhteensä</b>	<b>10540</b>		<b>12790</b>		<b>11240</b>		<b>9360</b>	

Parvekkeiden hankintakustannukset olivat 5–6-kertaiset normaaliin parvekeratkaisuun nähden. Kokonaisuudessaan aurinkosähköjärjestelmä muodosti noin 1,5 %:n osuuden huoneistokohtaisista kustannuksista. Järjestelmä on jo rakennusvaiheessa liitetty yleiseen sähköverkkoon, johon ylituotanto tarvittaessa syötetään. Flinc-kin mukaan kohteessa on käytössä sähkön *nettomittarointi*, jolloin sähkön toimittaja vähentää verkkoon syötetyn sähkön määrän taloyhtiön ostamasta energiamäärästä. Järjestelmän on raportoitu toimivan moitteetta. Vain kulutustiedonsiirtoyhteudet ovat rikkoutuneet ja ne on korvattu etäluettavilla kulutusmittareilla (Karjalainen 2007, 13).



### 3.4 Asunto Oy Allinan Helmen aurinkolämpöjärjestelmä

Riihimäellä sijaitseva 25 asuntoa käsittävä kerrostalo asunto Oy Allinan Helmi on valmistunut elokuussa 2006. Bruttoalaltaan 2 751 m<sup>2</sup>:n kerrostalo koostuu seitsemästä asuinkerroksesta ja kellarikerroksesta. Aurinkolämpöjärjestelmä on liitetty rakennukseen vuoden 2009 aikana. Kohde on palkittu Vuoden 2010 Taloyhtiöteko-palkinnolla, joka on osa Tee Parannus!-viestintäohjelmaa.

Kohteen aurinkolämpöjärjestelmän on toimittanut suomalainen toimija Riihimäen Metallikaluste Oy, joka on vastannut järjestelmän kokonaistoimivuudesta. Katolle on asennettu kuusi kappaletta tyhjiöputkikeräimiä, joiden asennuskulma on lähes pystysuora, kuten kuviosta 5 nähdään (Heikkonen 15.10.2009,12; Rica Solar kerrostalo -esite, [viitattu 18.06.2012]). Yhteisalaltaan 12 m<sup>2</sup>:n tyhjiöputkikeräimien takana ei ole käytetty heijastavaa peiliä tuulikuorman vuoksi, vaan itse keräimessä on lämmöntuottoa tehostava kuparinvärinen kalvo. Aurinkokeräimiltä piirin glykolinesteseos siirretään käyttöveden esilämmitysvaraajaan siirtomatkan ollessa noin 45 m (Rica Solar kerrostalot, [viitattu 18.06.2012]). Siirtoputket on asennettu tyhjäksi jääneeseen kuiluun ja itse varaaja on asennettu kerrostalon kuivaushuoneeseen (Taloyhtiön käyttövesi, [viitattu 18.06.2012]). Järjestelmän tavoitteena on ainoastaan esilämmittää käyttövettä, jolloin saavutetaan suurin hyöty aurinkolämmöstä. Taloyhtiön puheenjohtajan mukaan -16 °C:n pakkasella kooltaan 1000 litran varaajaa lämmittää edelleen +68 °C:n lämpöinen glykolinesteseos. Järjestelmän automaatiota on kehitetty ja sen toimintaa säädetään invertteripumpulla. Tyhjiöputkikeräimet keräävät lämpöä myös *ultraviolettisäteilystä*, mikä on tasokeräimiin nähden merkittävä parannus ja nostaa aurinkolämmön tuottavuutta huomattavasti.



Kuvio 5. Tyhjiöputkikeräimet asunto Oy Allinan Helmen katolla.  
(Rica Solar kerrostalo -esite, [viitattu 18.06.2012].)

Asunto Oy Allinan Helmen päälämmönlähteenä on kaukolämpö ja sen lämpöindeksi oli vuonna 2009  $25 \text{ kWh/m}^3$  Riihimäen keskiarvon ollessa  $44 \text{ kWh/m}^3$  (Rintala, [viitattu 18.6.2012]). Aurinkolämmön kokonaistuotto on vuoden 2010 perusteella ollut noin  $9\,100 \text{ kWh}$ . Arvioitu vuotuinen säästö on olosuhteista riippuen  $1\,500\text{--}2\,000$  euroa takaisinmaksuajan ollessa arviolta 6–8 vuotta. Investoinnin takaisinmaksuaikaan vaikuttaa muun muassa 15 %:n valtiontuki, järjestelmän vuosituotto ja samaan aikaan asennettu kuitukaapeli. Järjestelmä on kokonaisuudessaan suomalainen ja varustettu suomenkielisellä käyttöohjeilla, jotka helpottavat järjestelmän käytettävyyttä. Taloyhtiön investointikulut olivat aurinkolämmitysjärjestelmän asennusvuotena  $13\,100$  euroa.

### 3.5 Muita aurinkoenergiahankkeita ja sen kehitysnäkymät Suomessa

Aurinkoenergiaa on hyödynnetty suomalaisen asuinrakentamisen piirissä kohtuullisen vähän. Talonrakentamisen alalla Suomessa on kuitenkin valmistunut viime vuosina merkittäviä koerakentamishankkeita ja useita uusia aurinkoenergiaa hyödyntäviä koehankkeita on vireillä. Näistä mainittakoon muun muassa **Porin kaupungin uusi uimahalli**, jossa hyödynnetään sekä aurinkolämpöä että aurinkosähköä. Porin uimahallin julkisivun taakse on integroitu  $80 \text{ m}^2$ :n aurinkolämpökeräi-

miä, joiden lisäksi rakennuksen katolle on asennettu 200 m<sup>2</sup> perinteisiä tasokeräimiä. Keräinten vuosituoton arvellaan olevan 120 Mwh:n luokkaa. Aurinkolämmön ohella rakennukseen on myös asennettu 360 m<sup>2</sup>:n laajuinen aurinkosähköpaneelilisto, joiden vuosituotto on noin 45 MWh. Aurinkolämmön avulla pystytään kattamaan 5 % rakennuksen lämmitystarpeesta ja aurinkosähköllä noin 3 % rakennuksen sähkön tarpeesta (Tiilimäki 2011). Uimahalli avattiin kävijöille syyskuussa 2011, joten järjestelmän toimivuudesta ei vielä ole saatavissa kattavia käyttökokeuksia. Muita julkisella sektorilla toteutettuja aurinkoenergian koehankkeita ovat muun muassa **Teknillisen korkeakoulun Valotalo Espoon Otaniemessä** ja **Aurinkolahden peruskoulu** sekä **Latokartanon koulu Helsingissä** (Viitanen 2010, 43; Talotekniikka 04.09.2009). Aurinkolahden peruskoulussa aurinkosähköä käytetään atk-luokan ja kielistudion jäähdytykseen. Teollisuus- ja toimitilarakentamisen puolella on myös käytössä useita eri aurinkoenergiajärjestelmiä, joista mainittakoon **ABB Oy:n Helsingin Pitäjänmäen tehdas** ja **Tampereen Lielahden Citymarketin** aurinkosähköjärjestelmät (Viitanen 2010, 43; Talotekniikka 26.01.2011). Toimitilarakentamisen piirissä on myös vireillä suuri aurinkotalohanke **Vantaalle**, joka tulee käsittämään neljä ketjutettua toimistotaloa. Aviapolis ryhmään kuuluvaa **Econia Business Parkin** rakennuttajana toimii Julius Tallberg Kiinteistöt ja rakentajana Rakennusosakeyhtiö Hartela. Kohteessa on tarkoitus noudattaa ekotehosta ja kestävän kehityksen mukaista rakentamistapaa. Tämä tarkoittaa muun muassa arkkitehtonisesti hyödynnettyjen aurinkopaneelien asentamista kiinteistön eteläpuoleiseen julkisivuun. Kohde on tällä hetkellä Suomen suurin rakenteilla oleva aurinkotaloprojekti (Pyykkönen 14.01.2008).

Aurinkokeräimet ja -paneelit ovat arkkitehtonisesti integroitavissa rakennuksiin. Niistä on nykyisin tarjolla useita eri vaihtoehtoja värien ja muotojen suhteen, joiden hyödyntäminen suomalaisessa rakentamisessa on vielä ollut vähäistä. Negatiivisia kokemuksia koehankkeissa ei ole riittävästi hyödynnetty osaamista kasvattavana potentiaalina aurinkoenergian piirissä. Kotimaisten toimijoiden ja laitevalmistajien lisääntyessä järjestelmien toimivuus on kehittynyt ja huollettavuus sekä käyttäjäys-

tävällisyys helpottunut. Teknisten innovaatioiden käyttöönotto vaatii paitsi kattavaa testausta myös riittävää määrää koekohteita. Yhdeksi aurinkoenergian kehitystä jarruttavaksi tekijäksi on muodostunut investoinnin takaisinmaksuaika. Järjestelmien hankintakustannusten kuitenkin arvellaan laskevan kasvavan tarjonnan myötä, mikä oleellisesti vaikuttaa takaisinmaksuaikaa lyhentävästi. Suomessa on toteutettu useita aurinkoenergian kehittämishankkeita, joista osa on vielä toiminna-sakin. Hankkeilla pyritään pääsääntöisesti parantamaan energiatehokkuutta, kuten esimerkiksi Tee Parannus! -viestintäohjelmalla, jota toteuttavat yhteistyössä Tekes, Sitra ja Ympäristöministeriö (Tee Parannus! [viitattu 20.11.2012]). Ohjelman puitteissa on järjestetty innovaatiokilpailu, jonka voitti KONE Oyj:n, Lahden Oviteknikka Oy:n ja Riihimäen Metallikaluste Oy:n ehdotus jälkiasennushissikuilujen seinäpintojen verhoamisesta aurinkokeräimin. Alueellisesti aurinkoenergian mahdollisuuksia on pyritty kartoittamaan muun muassa yhdistelmärakennepiloteilla, kuten Aurinkoenergiasta liiketoimintaa -projektilla, joka on toteutettu neljän maakunnan yhteistyönä (Yhdistelmärakennepiloteilla aurinkoenergiasta, [viitattu 21.11.2012]).

Tekesin Kestävä yhdyskunta -ohjelma ja uusiutuvien energioiden ohjelma Groove järjestivät Solar Energy Forum talvella 2011. Seminaarin ohella järjestettiin työpa-ja, jossa pohdittiin laajasti aurinkoenergian tulevaisuutta Suomessa ja mahdollisia esteitä sille. Pohdintojen perusteella koettiin, että erityisesti kokonaispalvelujen ja *syöttötariffin* puute sekä etujärjestön että tukien puuttuminen jarruttaa aurinkoenergian kehitystä Suomessa. Täten muun muassa tuotteistaminen, kustannusten las-ku ja tiedotuksen kehittäminen toisivat kasvua aurinkoenergialle (Koivistoinen 2011). Ennen kaikkea tarvitaan myös rohkeaa koerakentamista ja innovaatioiden käyttöönottoa ja tutkimusta sekä ulkomaisten tekniikoiden hyödyntämistä myös Suomen olosuhteissa. Alueellisissa energiatekniikan ratkaisuissa ei aurinkoläm-pöä ole Suomessa käytetty. Tulevaisuus kuitenkin näyttää, rakentuuko Porvoon Skaftkärriin Suomen ensimmäinen aurinkokaukolämpölaitos (Rajala ym. 2010, 34).

## 4 TUULIVOIMA

### 4.1 Tuulivoiman tekniset perusteet

Tuulivoimassa hyödynnetään tuulen liike-energiaa muuttamalla se ensin mekaaniseksi energiaksi ja siitä edelleen kiinteistössä käytettäväksi sähköksi. Yleisemmin tuulivoiman avulla tuotetaan verkkosähköä, mutta se voidaan myös kytkeä kiinteistön sähkölämmitysjärjestelmään. Tuulivoiman yhteydessä voidaan puhua sekä suurtuulivoimaloista että pien- ja mikrotuulivoimaloista. Suurtuulivoimaloilla tarkoitetaan sähkön teolliseen tuotantoon tarkoitettuja laitoksia, jotka kansantajuisemmin tunnetaan nimellä tuulivoimapuistot. Pien- ja mikrotuulivoimalat puolestaan on tarkoitettu sähkön mikrotuotantoon ja ne soveltuvat asennettavaksi useisiin eri kohteisiin, kuten teollisuuskiinteistöihin tai eri tyyppisiin asuinrakennuksiin. Tuulivoimala voi olla rakenteeltaan vaaka- tai pystyakselinen, joista vaaka-akselinen tuulivoimala on kustannustehokkain. Pystyakselisiä malleja ovat muun muassa Savonius-tyyppiset voimalat. Asennuksessa on huomioitava esteettömyys, jonka vuoksi kattoasennuksen yhteydessä tuulivoimala asennetaan noin 10 m harjan yläpuolelle huolehtien värähtelyjen ja mahdollisen tärinän vaimennuksesta. Markkinoilla on runsaasti eri valmistajia, minkä vuoksi hankinnan yhteydessä tulisi huolehtia siitä, että *pientuulivoimala* täyttää kansainvälisen insinöörijärjestön IEC:n standardin 61400-2 vaatimukset (Eklund 2011). Standardin mukaiset voimalat vastaavat laatuvaatimuksiltaan teolliseen tuotantoon soveltuvia voimaloita ja niitä voidaan tästä syystä pitää luotettavina.

Tuulivoimalla tuotetun sähkön määrä riippuu oleellisesti tuulesta ja voimalan sijoituksesta asennuspaikalle. Taulukossa 5. esitellään joitakin vuosituotantotietoja, joiden osalta on huomioitava erityisesti sijoituspaikan tuulisuus. Teholtaan nykyaikaiset pientuulivoimalat ovat enimmillään 20 kW:n luokkaa. Hankinnassa on otettava huomioon erityisesti tuotantokäyrä yleisissä tuuliolosuhteissa ja nimellistehol-

le ilmoitettu tuulen nopeus. Tyypillinen tuulen nopeus on Suomessa 4–6 m/s tuuliturbiinin vaatiessa käynnistyäkseen tuulen nopeuden 3,5 m/s. Lisäksi on huomiotava, että tuulivoimala toimii keskimäärin 25–35 %:n teholla huipputehostaan (Mikkonen, [ 28.06.2012]). Tuulivoimalan suunniteltu käyttöikä on tyypillisesti 20–25 vuotta (Tuulivoimateknologia 02.04.2009).

Taulukko 5. Tuuliturbiinin vuosituotantoarvoja.

Nimellisteho kW	Nimellistehon tuuli m/s	Vuosituotto kWh	Tyyppi
3,5	5	5000	Vaaka-akselinen
6	11	3000	Pystyakselinen
10	6	19000	Vaaka-akselinen
Potkurin halkaisija m	Nimellisteho kW	Vuosituotto kWh	
2-3	0,2-1	< 1 000	
3-4	1-3	1000-3 000	
4-6	3-5	3 000-7 000	
6-10	5-10	7 000-25 000	

Tuuliturbiinin asennuttaminen edellyttää invertterin ja jarruvastuksen käyttöä, mikä tehtävänä on estää järjestelmän ylikuumentuminen. Invertteriä eli vaihtosuuntaajaa tai verkkoinvertteriä tarvitaan sähköön muuttamiseksi yksivaiheiseksi. Mikäli verkkoon syötetään yksivaiheista sähköä tuulivoimalan teho voi olla korkeintaan 3,7 kW ja teholtaan tätä suurempien tulee syöttää kolmivaihevirtaa. Invertterin soveltuvuus tulee aina tarkistaa sähköyhtiöltä turvallisuus syistä. Tyypillisesti 2–3 kW:n invertterin hankintahinta on noin 2 000–3 000 euroa. Investointikustannukset 2 kW:n voimalalle ovat 10 000–20 000 euroa ja 10 kW:n voimalalle 35 000–60 000 euroa (Parkkari & Perkkiö 2011). Keskimäärin hankintakustannukset ovat 1 800–2 300 €/kW. Tuotannon oletusarvona voidaan pitää 1 200 kWh/kW±400 kWh/kW (Laatikainen 2011). Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa paitsi teho myös voimalan sijainti. Esimerkiksi 10 kW:n voimalan takaisinmaksuaika erinomaisissa tuuliolosuhteissa on noin kymmenen vuotta ja sisämaassa vuorostaan jopa 20 vuotta.

Tuulivoiman rakentamisen luvanvaraisuus kytkeytyy useisiin eri lakeihin, asetuksiin ja isoissa hankkeissa kaavoitustoimiin asti. Ympäristövaikutusten arviointimenettelyä sovelletaan tapauksissa, joissa yksittäisten voimaloiden lukumäärä on vähintään kymmenen tai niiden kokonaisteho on vähintään 30 MW (A 17.08.2006/713). Tällöin hankkeelle on suoritettava ympäristövaikutusten arviointimenettely. Ympäristönsuojelulain mukaista ympäristölupaa saatetaan edellyttää myös tapauksissa, joissa lähialueilla on pysyvää tai loma-asutusta (Tuulivoimarakentaminen 2005). Tuulivoimalle on aina haettava joko rakennuslupaa tai toimenpidelupaa maankäyttö- ja rakennuslain mukaisesti. Lupakäytäntö vaihtelee alueittain kuntien ja kaupunkien rakennusjärjestyksen mukaisesti sekä kaavoitustilanteen mukaan. Pelkkään rakennuslupa- tai toimenpidelupaan perustuvan hakemuksen käsittelyaika on keskimäärin 2 kuukautta. Laajoissa tuulivoimahankkeissa lupaprosessi kestää tyypillisesti useita vuosia.

Hankkeelle voidaan hakea Työ- ja elinkeinoministeriön myöntämää energiatukea, jonka ohjeellinen tukitaso on pientuulivoimaloiden kohdalla 25 % (Selvitys hajauteusta 2010, 21). *Mikroturbiinien* eli alle 10 kW:n tuulivoimaloiden liittamisestä valtakunnalliseen sähköverkkoon säädetään standardissa EN 50438. Liittymiseen tarvitaan kuitenkin aina alueen sähköverkon omistajan lupa. Tuotetusta ylijäämästä ei vielä toistaiseksi Suomessa makseta, mutta nettomittarointi saattaa olla mahdollista sähköyhtiöstä riippuen. Vain 0,3 % Suomessa kulutetusta sähköstä tuotetaan tuulivoiman avulla (Tuulivoima 14.06.2012). Tuulen sisältämää energiaa on hyödynnetty pääasiassa teollisessa sähkön tuotannossa ja loma-asuntojen omavaraisissa järjestelmissä. Ominaisuuksiltaan tuulivoima sopii parhaiten kiinteistöihin lisäsähköntuottajaksi, joka optimaalisesti toimiessaan vähentää kiinteistön energian ostotarvetta.

## 4.2 Kiinteistö Oy Kummatti

Kiinteistö Oy Kummatti on toteuttanut Raahessa laajamittaisen kerrostaloalueen peruskorjauksen, jonka yhteydessä yhtiön hallinnoimaan kerrostaloon asennettiin pientuulivoimalan ohella aurinkosähköjärjestelmä. Tuulivoimajärjestelmä koostuu kahdesta kerrostalon katolle asennetusta nimellisteholtaan 2 kW:n pientuulivoimalasta. Ne nousevat maan pinnasta mitattuna noin 40 m:n korkeuteen ja sijaitsevat noin kilometrin etäisyydellä merenrannasta (Keskiöja 2011). 1.8.2011–31.7.2012 tuulivoimalat ovat tuottaneet yhteensä 837 kWh sähköä kunkin voimalan tuottaessa noin 0,8 % kiinteistön kuluttamasta sähköstä. Hankkeelle on laskettu 7–10 vuoden takaisinmaksuaika. Järjestelmässä myös hyödynnetään aurinkoenergiaa tuottamalla aurinkosähköä 3,42 kW:n tehoisella järjestelmällä. Aurinkosähköä tuotetaan yhteensä 27 m<sup>2</sup>:n alalla ja se muodostaa noin 3,9 %:n osuuden kiinteistön sähkönkulutuksesta. Tasokeräimin ilman akustoa varustettu järjestelmä on tuottanut vuodessa sähköä 2 132 kWh. Aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuajaksi ilmoitetaan 40 vuotta (Mourujärvi 2012).

Kiinteistö Oy Kummatin hanke on ensimmäinen Suomessa sijaitseva asuinkerrostalo, jonka katolle tuulivoimalat on asennettu. Pilottiluontoinen hanke on kohdannut useita eri haasteita, joista suurimmaksi on koettu lupaprosessin hankaluus ja selvien käytäntöjen puute (Sassi 2012). Hankkeen tuulivoimaloita seurataan aktiivisesti muun muassa melumittauksin. Kokonaisuudessaan odottamattomat esteet erityisesti lupakäytännöissä, ovat mittavasti hidastaneet hankkeen eteenpäin viemistä ja sen soveltamista myös muihin kohteisiin.

## 4.3 Muita tuulivoimalla toteutettuja kohteita

Tuulivoiman hyödyntäminen talonrakennusalueilla on vielä vähäistä. Yhtenä syynä on varmasti hankkeiden luvanvaraisuuden kirjavat käytännöt, mutta arkkitehtoni-



sestikin tuulivoimaa on vaikeampi soveltaa osaksi kiinteistön ulkonäköä. Osa pystyakselisista tuuliturbiineista on hyvinkin veistoksellisia ilmiasultaan, mutta niiden käyttöä rajoittaa merkittävästi alempi hyötysuhde verrattuna vaaka-akselisiin tuuliturbiineihin. Tuulivoiman hyödyntämisessä myös sen äänitekniset ominaisuudet on huomioitava tarkemmin kuin esimerkiksi aurinkoenergiajärjestelmissä. Tuulen osuessa voimalan lapoihin syntyy ääntä, johon vaikuttavat myös roottorin koko, sen pyörimisnopeus ja lapojen muotoilu. Lavat eli tuulivoimalan siivistö aiheuttavat noin 65 % laitoksen kokonaisäänentuotosta. Tuulivoimala onkin siten suunniteltava meluohjearvot huomioon ottaen, joka esimerkiksi taajamien asutusalueilla on 50–55 dB (Ääni, [viitattu 20.11.2012]).

Tuuliturbiineja on asennettu tutkimus- ja opetuskäyttöä varten muun muassa **Lappeenrannan teknilliselle yliopistolle** (Tuuliturbiini Lappeenrannan kampukselle 17.08.2011). Isommassa mittakaavassa tuulivoimaa on sovellettu **logistiikkayrityksen Kuenhe+Nagelin** rakennusten katolla **Vantaalla**. Kohteeseen on asennettu kymmenen nimellistehoaltaan 2 kW:n tuuliturbiinia. Voimalat ovat pystyakselisia 6,5 m:n kuumasinkityn teräsmaston varaan asennettuja voimaloita, joiden siipien materiaali on kylmävalssattua terästä turbiinin halkaisijan ollessa 3,2 m. Nimellisteho on ilmoitettu 10 m/s olevalle tuulen nopeudelle toimintatuulen nopeuden ollessa 3–25 m/s. Tuotannon kerrotaan olevan 10–15 % toimistorakennuksen sähkön tarpeesta aurinkosähkön osuuden ollessa 3–5 % (Laatikainen 2011).

Vielä toistaiseksi tuulivoimalat ovat olleet yleisempiä pientalorakentamisessa ja tuulipuistoina. Eritoten teollista tuulivoimakapasiteettia Suomessa olisi mahdollista lisätä huomioiden tuulivoiman ympäristövaikutukset. Uusiutuvana energiana tuuli tarjoaa yhden vaihtoehdon vaikuttaa kiinteistön ekotehokkuuteen ja alentaa parhaimmillaan ostosähkön tarvetta.

## 5 GEOENERGIA

### 5.1 Geoenergian käytön perusteet

*Geoenergiassa* eli maalämmössä hyödynnetään maaperään, kallioon tai veteen varastoitunutta auringon lämpöä. Varastoitunutta lämpöä kerätään jäätymättömällä nesteellä täytetyillä putkistoilla joko vaaka-asennuksena tai porakaivojen eli niin kutsuttujen lämpökaivojen avulla. Lämmön keräämistä sedimentistä voidaan kutsua nimellä *sedimenttilämpö*. Maalämmön avulla lämmitysenergiaa pystytään tuottamaan melko edullisesti lämpöpumppujen lämpökertoimen ollessa keskimäärin kolme (Lämpöä omasta maasta, [viitattu 03.07.2012]).

Maalämpöjärjestelmissä lämpöenergia tuotetaan lämpöpumpuilla, joiden toiminta perustuu kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Keruuputkistossa kiertävä neste höyrystää maalämpöpumpun kylmäaineen höyrystimessä, jonka jälkeen kompressorissa kylmäaineen lämpötila ja paine vielä kasvavat. Tämän jälkeen kylmäaine jäähtyy lauhtuttimessa, jossa se luovuttaa lämpöenergiansa lämmönjakojärjestelmän nesteelle. Lauhtuttimessa kylmäaine on saavuttanut nestemäisen muodon, jonka paine ja lämpötila laskevat vielä paisuntaventtiilissä lämmönkeruun tehostamiseksi.

Taajamarakentamisen yhteydessä maahan asennettava vaakaputkisto tulee harvoin kyseeseen suuren tilantarpeen vuoksi. Vakaa-asennettu keruupiiri myös hankaloittaa alueen rakentamista ja käyttömahdollisuuksia merkittävästi. Tästä syystä lämpökaivot ovat nostaneet suosiotaan huomattavasti kalliimmista hankintakustannuksista huolimatta. Lämmön tuotoltaan lämpökaivot ovat lähes kaksi kertaa tehokkaampia kuin vaakaan asennetut keruupiirit. Lämpökaivon tuoton niin sanottuna kuivakaivona on arvioitu olevan 50 kWh/m (Lämpöpumppujärjestelmän suunnittelu, [viitattu 03.07.2012]). Lämpökaivot ovat syvyydeltään tyypillisesti 200–250 m

ja ne sijoitetaan noin 15-20 m:n etäisyydelle toisistaan. Yleisiin hankintakustannuksiin vaikuttaa merkittävästi peruskallion sijaintisyvyys.

Maalämmön keräämiseen voidaan hyödyntää myös vesistöä, joka on lämmöntuot-  
to-ominaisuuksiltaan lämpökaivoa vastaava. Vesistöasennuksissa keruuputkisto  
ankkuroidaan vesistön pohjaan. Molemmissa tapauksissa lämmönsiirtoputkisto on  
suositeltavaa eristää rakennukseen saakka.

Järjestelmät voidaan mitoittaa osa- tai täysteholle, joista täystehomitoitus on huo-  
mattavasti yleisempää. Investointivaiheessa on hyvä ottaa huomioon myös järjes-  
telmän viilennys- ja jäähdytyspotentiaali, joka voidaan useissa tapauksissa toteut-  
taa vähäisin lisäkustannuksin. Maalämpöjärjestelmissä käytetyt pumpput sisältävät  
varaajan, johon voidaan yhdistää erillinen tulistinpiiri lämpimän käyttöveden tuot-  
toa tehostamaan. Maalämpöjärjestelmät soveltuvat parhaiten liitettäväksi matala-  
lämpötilajärjestelmiin, kuten lattialämmityksen piiriin. Sen yhteyteen voidaan asen-  
taa sujuvasti muita uusiutuvia energialähteitä hyödyntäviä järjestelmiä, kuten esi-  
merkiksi aurinkosähkö tai -lämpöjärjestelmiä. Maalämmön hyödyntäminen on suu-  
ressa kasvussa. Vuoden 2011 aikana maalämpöpumppujen myynti kasvoi 72 %  
(Maalämpöjytky 13.02.2012). On arvioitu, että Suomessa on lähes puoli miljoona  
lämpöpumppua, joilla tuotetaan energiaa 3–4 TWh vuodessa. Kokonaisenergian  
tuotossa ovat mukana myös poistoilma-, ilma- ja ilma/vesilämpöpumput.

## **5.2 Geoenergia saneeraushankkeissa**

Useissa suurissa kiinteistökohteissa lämmitysjärjestelmän saneeraus on ajankoh-  
taista. Rakennuskannasta lähes 30 % on rakennettu 1960- ja 1970-luvulla ja noin  
34 % vuosina 1980–1999 (Kuvaajia rakennuskannasta, [viitattu 04.07.2012]).  
Lämmitysjärjestelmien keskimääräinen ikä asettuu 20–50 vuoden väliin. Putkistot  
ovat järjestelmien pitkäikäisin osa, kun taas järjestelmien eri komponentit vaativat

uusimista jo paljon aikaisemmin. Sähkön ja öljyn hinnan noustessa useisiin kiinteistöihin on asennettu maalämpöjärjestelmiä, myös joissakin kaukolämpökohteissa on kustannussyistä päädytty maalämpöjärjestelmän hankintaan.

### **5.2.1 Asunto Oy Taivalkunnantie**

Nokialla sijaitseva taloyhtiö koostuu kahdesta kerrostalosta käsittäen yhteensä 62 asuntoa. Lämmitysjärjestelmän saneerauksen tullessa ajankohtaiseksi vuonna 1975 rakennetussa kiinteistössä taloyhtiö päätti vaihtaa kaukolämmityksen maalämpöön hintakehityksen vuoksi (Nokialla taloyhtiö siirtyi 21.03.2010). Kohteessa porattiin 18 lämpökaivoa, jotka ovat syvyydeltään noin 200 m. Kolme maalämpöpumppua asennettiin tyhjillään olevaan tilaan, johon liitettiin viisi 750 l:n varaajaa sekä sähkökattila järjestelmän toimintavarmuuden takaamiseksi. Lämmönjako tapahtuu kiinteistössä vesikiertoisen patterilämmityksen avulla. Koko hankkeen ajan vanha lämmitysjärjestelmä oli toiminnassa ja siitä luovuttiin vasta kun uusi lämmitysjärjestelmä otettiin käyttöön syyskuussa 2009. Maalämpöhankkeen kustannukset olivat noin 300 000 euroa, johon saatiin valtion avustusta 15 %. Vanhan järjestelmän korjauskustannukset olisivat olleet noin 50 000 euroa. Investoinnin takaisinmaksuajaksi on arvioitu seitsemän vuotta ja jo ensimmäisenä vuotena taloyhtiö säästi lämmityskustannuksissa yli 30 000 euroa. Taloyhtiön kaukolämpökustannukset olivat olleet noin 56 000 euroa vuodessa ja maalämmityksellä talven 2009–2010 aikana lämmityskustannukset olivat vain noin 26 000 euroa (Lämmitystavan vaihto 30.09.2010).

### **5.2.2 Asunto Oy Rokkalan Viherkeiju**

Mikkeliin vuoden 2009 aikana valmistuneen kerrostalon päälämmitysjärjestelmänä toimii maalämpö. Kiinteistön vaipan lämmöneristys, ikkunat ja ovet ovat *lämmönlä-*

*päisykertoimiltaan* parempia kuin rakennusaikaiset normit edellyttivät. Kohteen on raportoitu olleen ensimmäinen uudisrakentamisen piirissä toteutettu maalämpökerrostalo. Kokonaisuudessaan rakennushanke maksoi noin 10 % enemmän kuin rakennusmääräysten mukaan rakennettu kohde. Lämmönjako on toteutettu varavalla vesikiertoisella lattialämmityksellä, joihin lämpöä tuotetaan kuuden noin 200 m:n lämpökaivon avulla. Lämmönjakohuoneessa sijaitsevat järjestelmän kaksi kompressoria ja 5000 l:n varaaja. Vastaavan kokoinen kerrostalo Mikkeliissä on käyttänyt energiaa yhteensä noin 233 MWh kun Viherkeiju kuluttaa energiaa alle 50 MWh. Lämmityskuluihin on täten kulut 5 000 euroa ja verrokkikerrostalossa 12 400 euroa. Vain sähkön kulutus on ollut kohteessa verrokkitaloa korkeampaa.

Kohteessa on käytössä Gebwellin maalämpöjärjestelmä. Järjestelmän toimittanut yritys on kouluttanut kiinteistön huoltohenkilökuntaa ja perehdyttänyt myös isännöitsijän järjestelmään. Lämpimän käyttöveden riittävyyden suhteen ei kohteessa ole ilmennyt ongelmia. Huoltotoimenpiteisiin lukeutuu viikoittainen järjestelmän tarkistus, jonka lisäksi huoltoliike saa hälytysilmoituksen puhelimitse jos järjestelmässä ilmenee ongelmia. (Kapiainen-Heiskanen 2010.)

### **5.2.3 Muita toteutettuja saneeraushankkeita**

Saneerauskohteissa maalämpöjärjestelmien asentaminen on yleistynyt merkittävästi, erityisesti korvattaessa öljylämmitysjärjestelmää päädytään monesti maalämpöjärjestelmän hankintaan. Taulukossa 6. nähdään Senera Oy:n joidenkin toteuttamien saneeraushankkeiden perustiedot. Kohteen lämmitettävien neliöiden suuressa tarvitaan luonnollisesti enemmän lämpökaivoja vastaamaan kiinteistön lämmöntarvetta ja usein myös useampi sarjaan kytketty maalämpöpumppu. Maalämpöjärjestelmät ovat jo kohtuullisen yleisiä erityisesti pienimuotoisessa asuntotuotannossa, kuten rivi- ja paritaloissa. Myös suurissa kohteissa, kuten kerrosta-

loissa, maalämpöjärjestelmät ovat yleistyneet tekniikan kehittyessä ja kustannustason vakiintuessa.

Taulukko 6. Maalämpöjärjestelmäkohteita.

	Kohteen nimi	Sijainti
1	Rivitalo As Oy Jokioisten Mäntymetsä	Jokioinen
2	Rivitalo As Oy Vesimylly	Vantaa
3	2-Kerroksinen rivitalo As Oy Kotkankallio	Kaarina
4	Rivitalo As Oy Kesämäenrinne	Kaarina

Kohdenumero	1	2	3	4
Asunnot	9	18	28	34
Rakennusvuosi	1975	1988	1980	1974
Lämmitettävä pinta-ala	768,5	1990	2685	3894
Öljyn kulutus l/a	12000	36000	35000	85000
Ostettava lämmitysenergia kWh/a	120516	358560	348600	846600
Ostettava lämmitysenergia maalämmöllä kWh/a	28290	94060	92340	214460
Kaivot	3	8	10	20
Kaivojen syvyys	180	175	200	180
Lämpöpumput	1	2	2	4

### 5.3 Toteutettuja maalämpöjärjestelmiä

Suomessa on viime vuosina toteutettu merkittävän laajoja maalämpökohteita. Teollisuushallien rakentamisessa maalämmön hyödyntäminen ei vielä ole kovin yleistä. Joitakin tällaisia kohteita on kuitenkin toteutettu, joista mainittakoon **Aponox Oy:n** rakennuttama 3000 m<sup>2</sup>:n **teollisuushalli Hämeenlinnassa**. Kohteen lämmitys ja jäähdytys hoidetaan kymmenellä vinoon poratulla lämpökaivolla. Lämmönjako tapahtuu teollisuushallissa lattialämmityksen avulla ja jäähdytys kiertopumpulla ja lämmönvaihtimella lattian kautta. Jäähdytyksen aikana putkistoon ei ajeta alle 18 °C:sta vettä kondensointiriskin vuoksi. Lisäksi jäähdytystä tehostetaan erillisten jäähdytyspalkkien avulla. Vuonna 2008 valmistuneen hankkeen läm-

mitys- ja jäähdytystavan takaisinmaksuajaksi on laskettu 5–6 vuotta (Hellsten 19.03.2008).

Erittäin suurista hankkeista mainittakoon **Tampereen Ikea-tavaratalo**, jonka päälämmitysjärjestelmänä toimii kaksi teholtaan 600 kW:n maalämpöpumppua, joiden lisäksi käyttövesi tuotetaan pienitehoisemmalla maalämpöpumpulla. Lämpö- ja jäähdytysenergia kerätään 60 porakaivon avulla, jossa pumput on mitoitettu noin 60 %:lle tarvittavasta tehosta. Tarvittava lisälämpö tuotetaan kahden sähkökattilan avulla bruttoalaltaan 38 000 m<sup>2</sup> tavarataloon (Bamberg 2010).

#### 5.4 Hybridilämmitysjärjestelmät

Hybridilämmitysjärjestelmillä viitataan tässä yhteydessä lämmitystapoihin, jotka on yhdistetty toiseen energiateknisesti harvinaisempaan lämmitysmuotoon. Yhdistelmälämmitystä on hyödynnetty erityisesti maalämpöjärjestelmissä, joista useimmissa tapauksissa maalämmitysjärjestelmä on yhdistetty aurinkoenergiaan.

##### 5.4.1 Kiinteistö Oy Vaasan Kustaanportti ja Seinäjoen Honkapuisto

Vaasan Suvilahteen rakentuneet kaksi kahdeksankerroksista matalaenergiakerrostaloa ovat Suomen ensimmäiset maa- ja aurinkoenergialla lämpenevät kerrostalot. Koko hanke tulee käsittämään neljä tilansuunnittelultaan täysin identtistä kerrostaloa, joissa erona on vain eristepaksuudet. Hankkeella pyritään samaan tietoa rakenteiden toimivuudesta, kosteuskäyttäytymisestä ja kokonaisenergiakulutuksesta, josta kerrotaan tarkemmin kappaleessa 8 (Orrenmaa 2010).

Valmistuneissa kohteissa kerätään lämpöä 14 lämpökaivon avulla, joista jokaisen syvyys on 200 m. Lisäksi lämmintä käyttövettä tuotetaan aurinkokeräinten avulla, jotka koostuvat kahdeksasta 4,7 m<sup>2</sup>:n kokoisista tyhjiöputkikeräimistä. Kohteissa

on lämmitettävää *kerrosalaa* 2 700 m<sup>2</sup>, joihin lämpö jaetaan lattialämmityksen avulla. Lämpö tuotetaan kahden maalämpöpumpun avulla, jotka ovat tehoiltaan 60 kW ja 40 kW, joista viimeistä käytetään vain huippukulutuksen yhteydessä. Järjestelmässä on 1 000 l:n puskurivaraaja ennen lämmönpurkupiiriä sekä 26 kW:n sähkökattila ja kaksi 9 kW:n sähkövastusta lämminvesivaraajissa järjestelmän mahdollisia ongelmatilanteita varten. Kohteessa lämmityksen energiakulutukseksi on arvioitu 310 MWh ja lämpimän käyttöveden energiatarpeeksi 150 MWh. Laskennallinen huipputehontarve oli noin 114 kW ja laskennallinen lämpökaivoverkoston pituus 2300 m. Toteutetussa 2800 m:n lämpökaivoverkostossa on otettu huomioon tarvittava lämpövaraus sekä pumppujen hyötysuhteen parantuminen keruupiirin liuoksen lämpötilan pysyessä yhdestä kahteen astetta korkeampana. Aurinkopiiristä saatu yllilämpö johdetaan maalämmön keruupiiriin avulla kallioperään. Järjestelmän on raportoitu toimineen ensimmäisen käyttövuoden perusteella hyvin. Investoinnilla on pyritty saavuttamaan vuositasolla aurinkolämmöllä 30 MW:n ja maalämmöllä noin 287 MW:n säästö, joka kaukolämmön vuoden 2009 hintatason mukaan tarkoittaa 32 000 euron säästöä vuodessa (Lehesvuo 2010).

Kustaanportin rakennuttaja Lakea Oy on rakennuttanut myös Seinäjoelle vastaavanlaisen kohteen, joka poikkeaa myös perinteisestä kerrostalorakentamisesta arkkitehtuuriltaan. Seinäjoen Honkapuisto I ja II koostuvat kahdesta kerrostalosta, joiden etelän suuntainen kattolape on erittäin pitkä ja loiva, kuten kuviosta 6. voidaan todeta. Kohteet ovat valmistuneet loppuvuodesta 2011 ja sisältävät 84 kappaletta vuokra-asuntoja, joista kertyy lähes 4 000 m<sup>2</sup> lämmitettävää asuinpinta-alaa. Samoin kuin Vaasan Kustaanportin kerrostaloissa, kiinteistön lämmitysenergia tarve tuotetaan maa- ja aurinkolämmön avulla. Maalämpöjärjestelmä koostuu 18 lämpökaivosta, jotka ovat syvyydeltään kukin 200 m (Rintamäki, [viitattu 10.07.2012]). Järjestelmään on liitetty kolme 60 kW:n maalämpöpumppua sekä aurinkolämpöjärjestelmä. Aurinkojärjestelmän yhteensä 20 tyhjiöputkikeräinyksikön tuottama yllilämpö ja talviaikaan tuotettu lämpö ajetaan joko maapiiriin tai sillä lämmitetään maalämpöpiiriin keruuliuosta, jonka esilämmittäminen parantaa maa-



lämpöpumppujen hyötysuhdetta. Maa- ja aurinkopiirien suunnittelusta on vastannut MRP Energy Oy Vaasasta. Seinäjoen Honkapuiston kerrostaloista tehdään myös energian seurantatutkimusta Jyväskylän yliopiston johdolla. Muutaman vuoden käytön jälkeen seurantutkimuksesta saadaan kattavasti tietoa geo- ja aurinkoenergian yhdistämisestä, järjestelmän toimivuudesta ja lämpöenergian kulutuksesta.



Kuvio 6. Kiinteistö Oy Seinäjoen Honkapuisto.

#### 5.4.2 Lahdet Talot Oy Lanssikadun matalaenergiakerrostalot

Lahden Lanssikadulle on rakentunut huhtikuussa 2011 kaksi viisikerroksista matalaenergiataloa, jotka hyödyntävät lämmityksessä sekä maa- että aurinkolämpöä (Heikkonen 13.11.2008). Lämmitysjärjestelmä koostuu yhteensä 12 lämpökaivosta, kahdesta maalämpöpumpusta taloa kohden ja kahdesta 2 000 l:n varaajasta kiinteistöä kohden. Järjestelmään on myös kytketty 2,5 m<sup>2</sup>:n aurinkokeräimiä kymmenen kappaletta. Lämpökaivoilla tuotetaan myös kiinteistöissä tarvittu jäähdytys lattiaviilennyksellä ja tuloilman viilennyksen avulla. Kohde on rakennettu rakennus-aikaisia määräyksiä tiiviimmäksi ja se lukeutuu energiatodistuksen energiatehokkuusluvun mukaan luokkaan A. Kohteen ilmanvuotoluvuksi on mitattu 0,5, kun tavoitteeksi oli asetettu arvo 1 (Lahden ensimmäiset 2011). Tiiviys alittaa huomattavasti vuoden 2008 määräysten mukaisen arvon 4. Energiatehokkuutta on pyritty parantamaan myös asentamalla jarrutusenergian hyödyntävät vähän energiaa kuluttavat hissit. Kohteessa tuotetaan 95 % tarvittavasta lämmöstä ja jäähdytysenergiasta maalämpöjärjestelmällä ja 5 % tuotetaan aurinkolämpöjärjestelmän avulla. Kokonaisuudessaan aurinkokeräinjärjestelmä tuottaa maaliskuusta syyskuuhun välisenä aikana 50 % lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarvittavasta energiasta. Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien investointien takaisinmaksuajaksi on laskettu seitsemän vuotta (Ojansivu 16.10.2011). Järjestelmä vaati kaukolämpöratkaisuun nähden 70 000 euron lisäinvestoinnin. Hankkeen kokonaistavoitteena oli pyrkiä parantamaan uudisrakentamisen energiatehokkuutta kohtuullisin kustannuksin. Lisäksi erityistä huomiota kiinnitettiin sisäilmastoon ja passiiviseen jäähdytykseen käyttämällä syvyydeltään 2,4 metrisiä parvekkeita.

Lanssikadun kiinteistöt ovat kuluttaneet kiinteistösähköä noin 171 MWh vuodessa ja lämmitysenergiaan sähköä on kulunut 86 MWh vuodessa rakennuksen bruttoalan ollessa 4 150 m<sup>2</sup>. Näiden lukujen perusteella vuoden 2011 kulutustietojen mukaan kiinteistö saavuttaa energiatehokkuusluvun 42 kWh *bruttoneliötä* kohden

vuodessa. Energiatehokkuusluvun eli ET-luvun raja-arvo A-luokitukselle on 100 kWh/brm<sup>2</sup>/a, minkä kohde alittaa reilusti (Energiatodistus, 2011).

#### 5.4.3 Muita hybridilämmitysjärjestelmäkohteita

**Espoossa Vuokratiloyhtiö Espoonkruunun** keväällä valmistuneessa kerrostalokohteessa hyödynnetään käyttöveden lämmittämiseen aurinkoenergiaa ja varsinainen lämmitysenergian tarve tuotetaan maalämmöllä. Kohteessa on arvioitu aurinkoenergian tuottavan tarvittavan lämpimän käyttöveden alkukevästä loppusyksyyn asti. Yhtiöllä on rakenteilla vastaava pienkerrostalokohde, jonka arvioitu valmistuminen ajoittuu vuoteen 2013. Yhtiö on sitoutunut noudattamaan kiinteistöalan uutta energiatehokkuussopimusta, joten myös rakenteilla olevaan palvelutaloon hankitaan maalämpöjärjestelmä lattiaviilennyksineen, jonka lisäksi kaikissa peruskorjauskohteissa pyritään suosimaan energiaa säästäviä toimenpiteitä (Tiedote 2011).

Rohkeita energiateknisiä sovelluksia on myös toteutettu **Vaisala Oyj:n** uudessa **Vantaalla** sijaitsevassa päätoimipaikassa, jolle on myönnetty Suomen ensimmäinen kultatason Leadership in Energy and Environmental design -sertifikaatti eli LEED-sertifiointi (Vaisala Oyj, [viitattu 13.07.2012]). Kohteessa yli 700 m<sup>2</sup>:n laajuiset aurinkopaneelit tuottavat noin 20 % rakennuksen sähköntarpeesta ja maalämpö- ja viilennysjärjestelmä yli 20 % lämmitys- ja jäähdytysenergian tarpeesta. Aurinkosähkön tuotoksi arvioitiin hankkeen alussa 10–15 % rakennuksen sähköntarpeesta (Heikkonen 16.09.2010). Järjestelmän paneelit on asennettu kiinteistön eteläiselle seinälle ja katolle, kuten kuviosta 7. nähdään.



Kuvio 7. Vaisalan uusi pääkonttori.  
(Vaisala Oyj kuvapankki [viitattu  
05.12.2012].)

Kiinteistössä maalämpöjärjestelmä koostuu kahdestakymmenestä 200 m syvästä porakaivosta ja sillä hoidetaan myös piha-alueen lumensulatus. Kohteessa on yrityksen toiminta huomioon ottaen käytetty mittava määrä eriasteista kiinteistöautomaatiota, muun muassa ulkoisten aurinkosuojien valvontaan käytetään auringon säteilymittareita, mikä vähentää kesäisin kohteen jäähdytystarvetta. Lisäksi sisätilojen lämpötilaa ja hiilidioksiditasoa mitataan, minkä mukaan säätyvät lämpö-, tuuletus ja -ilmastointijärjestelmä. Myös valaistus säätyy luonnonvaloa mittaavien antureiden perusteella. Työntekijöitä kohteessa on lähes 200 henkilöä.

**Helsingin Viikissä** sijaitsevassa **kiinteistö Oy Helsingin Ympäristötalossa** on sitä vastoin hyödynnetty useita uusiutuvan energian muotoja. Kohde on valmistunut loppuvuodesta 2011 ja se tarjoaa työskentelypaikan 240 työntekijälle (Heikkonen 13.10.1011). Viisikerroksinen kokonaisbruttopinta-alaltaan 6550 m<sup>2</sup> laajuinen rakennus lukeutuu *energiatehokkuusluokkaan A*, saavuttaen energiatehokkuusluvun 70 kWh/m<sup>2</sup> (Helsingin kaupunki Rakennusvirasto 11.04.2011). Hankkeen rakennuskustannukset olivat yhteensä 16,5 miljoonaa euroa. Kiinteistön etelänpuoleinen kaksoisjulkisivun pinta on verhoiltu aurinkopaneelein, joita on myös sijoitettu katolle. Aurinkosähköjärjestelmä on teholtaan 60 kW ja lukeutuu täten Suomen suurimpien aurinkovoimaloiden joukkoon. Kohteen jäähdytysenergia tuotetaan 25 porakaivon turvin, joiden lisäksi katolle on asennettu neljä tuulivoimalaa. Tuulivoiman tavoitteena ei ole tuottavuus, vaan sen mahdollisuuksien esittely.

Hybridijärjestelmiä on hyödynnetty menestyksekkäästi myös urheiluhallirakentamisessa. **Helsingin Kivikossa** sijaitseva **Ylläs-halli** hyödyntää maa-, tuuli- ja aurinkoenergiaa. Kohteessa pyritään 30–40 %:n energiaomavaraisuuteen. Sähköä tuotetaan rakennuksen tarpeisiin kymmenellä 5 kW:n tuulivoimalalla ja aurinkosähköpaneelin pyrkien 15 %:n tuottoon rakennuksen kokonaissähkötarpeesta. Muu energia tuotetaan 16 porakaivolla, joihin on kytketty 12 maalämpöpumppua (Heikkonen 09.04.2009).

Toimitilarakentamisessa hybridijärjestelmät ovat vielä kohtuullisen harvinaisia. Joitakin koerakentamishankkeita on kuitenkin ollut, kuten esimerkiksi **Biolan Oy:n** maaliskuussa 2010 **Euraan** valmistunut pääkonttori. Uutta 2 150 m<sup>2</sup>:n ja tilavuudeltaan 13 600 m<sup>3</sup>:n toimitilaa lämmitetään ja jäähdytetään kahdeksan porakaivon avulla, joiden toiminnasta vastaa kaksi 60 kW:n maalämpöpumppua. Täysitehoiseksi mitoitettu maalämpöjärjestelmä sisältää myös tulistuspiirin, jonka avulla käyttövesi saadaan varaajan yläosassa saavuttamaan +65 °C:n lämpötila (Lavento, [viitattu 13.07.2012]). Lämmönjako on toteutettu lattialämmitysjärjestelmän avulla. Lisäviillennystä sisätiloihin tuo Biolan Oy:n kehittämä Novarbo-järjestelmä, joka on

rakenteisiin integroitu suutinputkistojen ja pisaraerottimiin perustuva ilmastohallintajärjestelmä (Biolan uusi pääkonttori, [viitattu 13.07.2012]). Novarbo-järjestelmä pisaraverho aiheuttaa tilassa ilmavirtauksen ja tätä kautta syntyy ilmaa jäähdyttävä vaikutus. Ilmavirtauksen ansiosta auringon ja valaistuksen tuottama lämpö johdetaan ulos rakennuksesta Novarbo-järjestelmän avoimen lämmönvaihtimen kautta. Järjestelmän raportoidaan toimivat erittäin suurella hyötysuhteella suorituskertoimen eli COP:n ollessa 50–100 ja se on alkujaan suunniteltu teolliseen kasvihuonekäyttöön, mutta sen soveltuvuutta muun rakentamisen yhteydessä tutkitaan kohteessa. Lisäksi kohteessa käytetään maalämmön ohella jäteilmasta saatavaa lämpöä lämmitykseen pyörivän lämmöntalteenottolaitteen avulla.

Suurin Suomessa toteutettu uusiutuvia energioita hyödyntävä kohde on Suomen Osuuskauppojen Keskuskunnan eli **SOK:n logistiikkakeskus Sipoossa**. Hanke on niin mittava, että kyseessä on hybridilaitos, jolla tuotetaan energiaa maalämmöllä, *pelleteillä* ja muilla biopolttoaineilla (SOK:n logistiikkakeskukseen 2009). Kooltaan 75 000 brm<sup>2</sup>:n keskusta lämmitetään ja jäähdytetään noin 90–%:sesti uusiutuvilla energiamuodoilla. Hankkeen kokonaisinvestointi on noin 150 miljoonaa euroa ja sen on määrä valmistua vuoden 2012 aikana. Valmistuessaan se on Suomen suurin maalämpöä hyödyntävä laitos, jonka järjestelmä koostuu 150 porakavosta jokaisen kaivon ollessa noin 300 m syvä. Järjestelmä koostuu kokonaisuudessaan lämpöpumpuista, pellettikattiloista ja integroiduista aurinkokeräimistä. Raskasta polttoöljyä kohteessa on määrä käyttää vain kulutushuippujen aikana (GTK tutkinut 2011).

Suomessa on lisäksi suunnitteilla ja osittain jo rakennettukin alueellisia ratkaisuja, joissa hyödynnetään maalämpöä asuntoaluekohtaisesti. Tätä aihetta käsitellään tarkemmin kappaleessa 7 ja alueellista sedimenttilämmitystä kappaleessa 5.6.

## 5.5 Energiatekniset innovaatiot maalämmön hyödyntämisessä

Maalämmön hyödyntämisessä käytettävät maalämpöpumput ovat kehittyneet viimeisen kymmenen vuoden aikana merkittävästi. Pumppujen tekniikan kehittyessä maalämpöä on kyetty hyödyntämään yhä suuremmissa kohteissa. Yleisemmin käytetään lämpökaivoja, mutta poraustekniikan käyttäminen ei ole kaikissa perustamisolosuhteissa mahdollista. Samoin porausta vaikeuttavat maaperän omistussuhteet ja mahdollinen maanalainen rakentaminen, mikä vaikuttaa erityisesti lämpökaivojen rakentamiseen taajama-alueilla. Tätä ongelmaa silmällä pitäen markkinoille on tullut Ruukki Oyj:n ja Uponor Oyj:n kehittämä *energiapaalujärjestelmä*, jossa maalämpöä tuottavat keruuputkistot on asennettu umpeen valetun teräspaalun sisään. Täten maalämpöä voidaan hyödyntää perinteisen paalutuksen yhteydessä lämmönkeruunesteeseen lämmitessä talvella ja viilentyessä kesäisin maaperän lämpötilojen mukaan. Järjestelmää hyödynnetään siten sekä lämmityskaudella että jäähdytyksessä. **Jyväskylään** rakennetussa **Tecnopolis Innova 2-toimistorakennuksessa** on tekniikkaa hyödynnetty ja kohteen myötä odotetaan saatavaksi tarkkoja energian tuotantotietoja. Kohteessa on energiapaalujen arvioitu tuottavan noin 85 % kiinteistön lämmitysenergian tarpeesta. Perustuksen 367 juntatusta teräspaalusta 38 paalua on edellä kuvattuja 20–30 m:n pituisia energiapaaluja. Lisäksi kohteessa on hyödynnetty Are Sensus -järjestelmää, mikä huolehtii lämmön ja tarvittavan viilennyksen jaosta huoneisiin kattoon asennettujen paneelien avulla (Mainio 07.04.2012). Teräspaalut, joita Ruukki Oyj nimittää energiapaaluiksi, betonoidaan lämmönkeruuputkiston asennuksen jälkeen (eRR- ja eRD-energiapaalut 15.03.2012). Betonoinnilla pyritään tehostamaan paalun toimintaa energian kerääjänä ja samalla se estää keruuliuoksen mahdolliset vuodot maaperään tehokkaasti. Vastaavaa ratkaisua tarjoaa myös Parma Oy, jossa on kehitetty esijännitetty teräsbetonipaalujärjestelmä. Paalujärjestelmän yksittäisen paalun kantavuutta on kyetty parantamaan ja tuote on CE-merkitty. Sen sisällä olevan ontelon käyttämis-

tä maalämmön keräämiseen tutkitaan parhaillaan. (Ecopaalut, [viitattu 21.11.2012].)

## 5.6 Sedimenttilämpö

Vesistön pohjasta kerättävää energiaa voidaan nimittää yhteisesti sedimenttilämmöksi. Sen eri saantokohteita ovat järvet ja merialueet sekä joet, joissa kaikissa tapauksissa lämmönkeruuputkisto asennetaan joko ankkuroimalla vesistönpohjaan tai vesistön maakerrostuman eli sedimentin sisään kaivamalla tai vaakaporauksen avulla. Sedimenttilämpöä on tyypillisesti käytetty pienissä kohteissa, kuten pientalorakentamisessa. Vanhimpiin suurikokoisiin järjestelmiin lukeutuu **Porvoossa** sijaitsevan **Haikon kartanon** merilämpöjärjestelmä, joka on ollut käytössä vuodesta 1985 lähtien. Lämmitys on kohteessa hoidettu neljän 100 kW:n tehoisen pumpun ja öljylämmityksen yhdistelmällä. Keruuputkisto on upotettu rantaan painojen avulla silmukoiden muodostaessa yhteensä hieman yli 14 km pitkän keruuputkistojärjestelmän. Keruuputkistona on käytetty muoviputkea, joka upotuksen yhteydessä jäi merenpohjan yläpuolelle. Tästä syystä suurin järjestelmän toimintaongelma on liittynyt keruuputkiston vioituksiin. Haikon kartanon lämmitysjärjestelmään liitettiin vuotena 1996 myös savukaasujen lämmöntalteenottojärjestelmä ja maakaasulla toimiva lämmityskattila. Järjestelmään kuuluvat lämpöpumput uusittiin lähes 20 vuoden käytön jälkeen ja nykyisin järjestelmään on liitetty kolme teholtaan 190 kW:n lämpöpumppua, jotka tuottavat kohteeseen sekä lämmitysenergiaa että lämmintä käyttövettä. Vanha järjestelmä tuotti lämpöpumpuilla vuoden 2002 aikana energiaa noin 1979 MWh muodostaen 52 %:n osuuden kiinteistön lämmitysenergian tarpeesta. Järjestelmän päivittämisen jälkeen lämpöpumput tuottavat energiaa 2999 MWh muodostaen 63 %:n osuuden Haikon kartanon tarvitsemasta lämmitysenergian määrästä. Korjausten yhteydessä myös keruuputkiston asennussyvyyttä muutettiin siten, että keruuputkisto painui merenpohjan pintaa vasten. (Haikon kylpylä on hyödyntänyt, [viitattu 18.07.2012]). Haikon kartanoa



vastaavia kohteita on toteutettu jonkin verran, joista mainittakoon vuotena 2005 **kylpylähotelli Mesikämmenen** lämmitysjärjestelmän saneeraus **Ähtärissä**, jossa öljylämmitysjärjestelmä korvattiin järven pohjasta tuotettavalla maalämmöllä. Kylpylähotelli Mesikämmenen kahden maalämpöpumpun lämmitysteho on yhteensä 440 kW ja jäähdytysteho vastaavasti 634 kW. (Kylpylähotelli Mesikämmen, [viitattu 18.07.2012]; Lämpöä ja viileää ilmaa järvestä, [viitattu 18.07.2012]).

Laajamittaisesti sedimenttilämpöä on ensikerran Suomessa hyödynnetty **Vaasan asuntomessualueella Suvilahdessa**. Järjestelmä on rakennettu vuonna 2007 ja siihen on liittynyt messualueen 48:sta pientalosta 44, joiden lisäksi sedimenttilämpöä hyödyntää myös energiantuottoyksikkö New Energy -rakennus. Sedimenttilämpöä kerätään 26:n silmukan avulla yhden silmukan muodostaessa 300 m pitkän lämmönkeruupiirin. Keruuputkistona on käytetty hanketta varta vasten kehitettyä *koaksiaaliputkea*, jossa lämpö siirtyy kiinteistölle ulommassa kerroksessa ja palautuu kiinteistöiltä putken keskiosassa. Lämpö johdetaan kiinteistöille erillisten jakokaivojen kautta. Meren alle vaakaporatuista putkista neljä on jouduttu sulkemaan ruoppausvaurioiden takia, mutta järjestelmää aiotaan täydentää merenpohjaan porattavilla kolmella syvyydeltään 300-m:sillä porakaivoilla. Jokaisella järjestelmään liittyneellä kiinteistöllä on oma maalämpöpumppu ja kutakin pientaloa kohden lämmönkeruuputkistoa on noin 170 m. Maalämpöpumpuksi suositeltiin teholtaan 400 W:n ja nostokyvyltään 30 m:n pumppua. Suurin osa alueen ongelmista on johtunut alitehoisista pumpuista ja pumppujen puutteellisesta säädöstä. Suurin osa toimintaongelmista on nykyisellään korjattu ja järjestelmä itsessään toimii moitteettomasti (Orrenmaa 2010). Messualueetta on kuitenkin kritisoitu energiansäästöpotentiaalin sivuuttamisesta edullisen lämmitystavan vuoksi, mistä johtuen alueen pientalot ja kerrostalot eivät saavuttaneet energiatodistuksessa korkeaa luokittelua (Heikkonen 26.06.2008). Liittyminen verkostoon edellytti maalämpöpumpun hankintaa, jonka lisäksi suoritettiin liittymismaksu 1 500 euroa ja siihen kuuluva arvonlisävero. Itse verkoston käyttömaksu on kiinteä ja määräytyy lämmitettävien neliömetrien mukaan ollen 2,50 €/m<sup>2</sup>. (Ekologinen energia lämmittää

messukoteja, [viitattu 06.09.2011]). Alueen energiatuotantoyksikössä hyödynnetään myös kaatopaikalta saatavaa biokaasua sedimenttilämmön ohella. Näistä tuotetaan sekä lämpöä että sähköä maalämpöpumpun, mikroturbiinien ja poltto-kennoyksikön avulla, joista alueen 39 pientaloa saavat sähkön ja alueen neljä kerrostaloa tarvitsemansa lämpöenergian (Energiaomavarainen asuinalue, [viitattu 18.07.2012]). Sedimentin lämmöntuottokyky on Vaasassa havaittu odotettua suuremmaksi lämpötilan pysyessä 3,5 m:n syvyydellä 7–9 °C:n välillä ympäri vuoden (Sedimenttilämmön kartoittaminen ja, [viitattu 06.09.2011]). Vaasan asuntomessualueen innoittamana sedimenttilämmönresursseja on kartoitettu laajasti Etelä-Pohjanmaan ja Pohjanmaan alueella. Tutkimukset ovat paljastaneet, että kaikissa tutkituissa kohteissa sedimenttilämmölle olisi erinomaiset tuotanto-olosuhteet. Sen hyödyntämistä rajoittaa vain maaperän kovuus tai kivisyys ja osittain keväällä nopeasti nouseva lämpötila (Sedimenttikartoitus, [viitattu 18.07.2012]).

Sedimenttilämpöä on hyödynnetty aluerakentamisessa myös **Nokiassa**, jossa lämpöä tuotetaan **koulutus- ja yrityspuiston rakennuksille**. Aluetta palvelevat kahdeksan Pyhäjärven sedimenttiin sijoitettua maalämpöputkea ja kymmenen maalle porattua lämpökaivoa (Euroopan aluekehitysrahaston rahoittaman projektin kuvaus, [viitattu 11.09.2012]). Käytetty tekniikka on vastaavanlaista kuin Vaasan Suvilahden asuntomessualueella. Järjestelmän maalämpöpumput on mitoitettu kesäajan mukaan, joiden odotusarvona oli tuottaa noin kolmannes alueen lämpöenergian tarpeesta ja kesäajalla kattaa koko lämmöntarve. Teholtaan 400 kW:n maalämpöpumput nostavat pumpun kylmäaineen lämpötilan 70–80 °C:een, minkä jälkeen se syötetään keskuslämmitysverkostoon. Lauhtuvan kylmäaineen energia hyödynnetään siirtämällä sitä edelleen kaukolämmön paluuveteen. Hankkeella pyrittiin tutkimaan maa- ja järvilämmön yhteensovittamista maakaasulla toimivaan kaukolämpöverkkoon. Suurin lämpöpumpun teho on ollut noin 260 kW, joka kattaa 5 % koko aluelämpöverkon tehosta. Järjestelmän hankinta on vaatinut noin 350 000 euron investoinnin (Majaniemi 23.04.2009).

## 6 PELLETTILÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

### 6.1 Pellettilämmitysjärjestelmän perusteet

Pellettilämmitysjärjestelmä koostuu varastosiilosta, pelletin siirtokuljettimesta, polttimesta ja pellettikattilasta. Järjestelmän polttoaineena käytetään kutterinpurusta, sahajauhosta ja hiontapölystä puristettua puuta. Varastosiilosta polttoaine kuljetaan joko päiväsiiliöön tai suoraan lämmityskattilaan syöttöruuvien tai ilmanpaineen avulla. Stokeri-polttimella varustetussa järjestelmässä voidaan polttoaineena käyttää myös haketta ja hakkeen ja pelletin seosta (Puhakka, Alanen, Kokkonen, Nalkki & Rousku 2003). Käytettäessä muita puu- tai turvepohjaisia energialähteitä voidaan puhua *bioenergiakattiloista*. Yleisesti lämmityskattilaan on liitetty poltin, mutta ne voidaan myös yhdistää yhdeksi kokonaisuudeksi, jolloin puhutaan yhdistelmä-kattilasta (Lämpöä puusta puhtaasti, [viitattu 20.07.2012]). Pellettikattilat ovat ylä- tai alapalotilaisia kattiloita, joista lämpö siirtyy keskuslämmitysjärjestelmän veteen termostaatin ohjaamana. Järjestelmään liitetään normaalisti lämminvesivaraaja ja tarvittava ohjausautomaatio. Savuhormi ja lämmityskattila vaativat säännöllistä huoltoa. Lisäksi järjestelmään kuuluva varastosiilo tulisi puhdistaa muutaman vuoden välein. *Pelletti* tuottaa lämpöä 3 000–3 300 kWh/m<sup>3</sup> ja varastotilan tarve on noin 1,5 m<sup>3</sup>/t (Puupelletit – nykyaikainen lämmitystapa, [viitattu 20.07.2012]). Yleisesti pellettilämmitysjärjestelmän lämpö jaetaan kohteisiin radiaattoreilla tai lattialämmitysjärjestelmän avulla. Pellettien suosio on kasvanut hitaasti keskisuurissa ja suurissa kohteissa vuosina 2003–2008. Teholtaan yli 25 kW:n laitokset luokitellaan kuuluviksi keskisuuriin tai suuriin kohteisiin. Niiden yhteenlaskettu pellettien kulutus vuonna 2008 oli noin 70 tonnia ja sillä tuotettiin energiaa likimäärin 320 GWh:a. Suomessa on noin tuhat suurempaa kohdetta, jotka käyttävät pellettiä energiantuottamiseen (Tuohiniitty 2010). Pellettilämmitysjärjestelmän suunnittelussa on aina kiinnitettävä erityistä huomiota paloturvallisuuteen ja noudatettava palo-

viranomaisen ohjeistusta järjestelmän vaatimuksista ja rakenteellisesta paloturvallisuudesta. Pellettilämmitysjärjestelmän rakentamista varten niin uudis- kuin saneerauskohteissa on anottavissa investointiavustusta ja energiatukea.

## **6.2 Asunto Oy Nokian Tanhuanpiha ja Kolmiopiha**

Nokialla sijaitsevat asunto Oy Nokian Tanhuanpiha ja Kolmiopiha muodostavat kahden rivitalon alueen, johon lukeutuu yhteensä 22 huoneistoa (Tuohiniitty 2010). Molempia taloyhtiöitä palvelee yhteinen lämpökeskus, jonka tilavuudeltaan 40 m<sup>3</sup> varastosiilo on sijoitettu talous- ja autokatostiloihin. Lämmönjakokeskus on vastavasti sijoitettu piharakennuksen maanalaiseen kerrokseen, jossa taloyhtiöitä palvelevat kaksi pellettikattilaa. Ensisijaisesti käytetään teholtaan 160 kW:sta pellettikattilaa ja varajärjestelmänä 50 kW:n kattilaa (Rissanen 2009). Pienitehoisemman kattilan toiminta ohjautuu automaattisesti ja se kytkeytyy päälle ainoastaan huippukulutuksien aikana ja ensisijaisen kattilan toimintahäiriöiden aikana. Kohteessa on mittatilaustyönä valmistettu savukaasuimuri, pienemmän kattilalaitoksen toimiessa luonnonpoistolla. Kattiloissa on lämminvesisäiliöt tilavuuksiltaan 540 l ja 260 l, joiden lisäksi lämpökeskuksessa on vielä erillinen 2 000 l:n lämminvesivaraaja. Molemmat lämmityskattilat ovat alipaineellisia ja ne tuottavat kaiken taloyhtiöiden tarvitsemasta lämmöstä ja lämpimästä käyttövedestä. Pellettien hinnoista tehdään vuosittaiset sopimukset, joiden avulla kustannukset pyritään pitämään hallinnassa. Vuotena 2008 käyttöön otetussa järjestelmässä ei ole ollut toimintaongelmia. Kohteen on rakennuttanut Halesa Oy Nokialta.

## **6.3 Pientaloalue Nokian Lähdeniitty**

Rivi- ja paritaloista koostuva 130 huoneiston aluetta lämmittää yksi yhteinen tehoaan yhden megawatin pellettilämpölaitos. Kohteet on rakentanut Halesa Oy. Alue-

lämpökeskusta hallinnoi Halesa Oy:n tytäryhtiö Nokian Biolämpö Oy. Keskus koostuu kahdesta lämpöä tuottavasta pellettikattilasta, jotka ovat tehoiltaan 700 kW ja 300 kW. Pelletit siirretään polttoon neljän kuljettimen avulla kahdesta yhteis-tilavuudeltaan 76 m<sup>3</sup> varastosiilosta. Siilot täytetään 8–10 kertaa vuodessa. Vesi-keskuslämmityksellä toimivan laitoksen siirtoputkisto on lisäeristetty lekasoralla lämpöhäviöiden minimoimiseksi (Rekola 2011).

#### **6.4 Asunto Oy Keuruun Ylä-Kivelä**

Asunto Oy Keuruun Ylä-Kivelä on rakennettu 1974 ja koostuu 40 huoneistosta. Öljylämmityslaitteisto kulutti öljyä 42 000 l maksaen noin 31 500 euroa vuodessa. Laitteiston ollessa uusimisikäinen siirtyi taloyhtiö pellettilämmitykseen vuonna 2008 ollen Suomen ensimmäinen aurinkoenergiaa ja pellettilämmitystä hyödyntävä kerrostalo. Lämmitysjärjestelmän vaihtoon on saatu valtiolta 15 %:n energiatuki. Kohteeseen on valittu Stokeri-tyyppinen tehoalueeltaan 12–125 kW:n lämmityskattila, johon pelletti siirrettiin aluksi tilavuudeltaan 25 m<sup>3</sup> varastosiilosta painevoimalla (Integroidut kattilat 2008). Talvella siirtoputkisto kuitenkin tukkeutui muutamia kertoja ja imurin avulla tehtävä siirto korvattiin ruuvilla eli siirtokierukalla. Varajärjestelmänä toimii kohteen toinen vanhoista öljykattiloista. Pelletin siirrosta aiheutuvan äänen takia sitä ohjataan kellolla, mikä estää öisen käynnin. Paloturvallisuuden parantamiseksi kattilassa on paineellinen vesiruiskutus, jonka tehtävänä on estää palon laajentuminen siirtoputkistoon. Lämmityskaudella kattilat on nuohotta-va kuukausittain ja sen ulkopuolella joka toinen kuukausi.

Vuodessa kohde kuluttaa 90 tonnia pellettiä, joka vuoden 2009 hintatason mukaan vastaa 18 000 euroa. Sama lämpömäärä saataisiin investoimalla noin 26 000 euroa öljyyn (Kaskinen 2009). Pellettijärjestelmän takaisinmaksuajaksi on laskettu 4–5 vuotta. Vielä vuoden 2011 tietojen mukaan takaisinmaksuaikalaskelmassa on pysytty. Ylä-Kivelässä käytetään pelletin yhteydessä myös aurinkoenergiaa, jota

tuotetaan pinta-alaltaan 20 m<sup>2</sup>:n järjestelmällä 25-putkisten keräinten avulla. Aurinkojärjestelmää ohjataan teholtaan 40 W:sella kiertovesipumpulla, jonka yhteyteen on sijoitettu kaksi 800 l:n lämminvesivaraajaa. Energiaa aurinkojärjestelmä tuottaa noin 15 000 kWh/a. Lämmitysjärjestelmän automaatio ohjaa aurinkojärjestelmän ensisijaiseksi aina kuin se on mahdollista. Aurinkokeräimet ovat suotuisina päivinä riittäneet lämmittämään tarvittavan käyttöveden ja käyttövesijärjestelmään liitettyjen pattereiden energiatarpeen. Kokonaisuudessaan hanke vaati 70 000 euron investoinnin, joka sisälsi niin pellettilämmitys- että aurinkokeräinjärjestelmän asennustöineen sekä varastosiilon rakentamisen. Aurinkojärjestelmälle on laskettu kahdeksan vuoden takaisinmaksuaika. Kohde on palkittu Vuoden 2008 Taloyhtiötekotunnuksella.

Saneeraukseen uskallettiin lähteä osittain **Keuruulla asunto Oy Metsälinnassa** saatujen positiivisten kokemusten vuoksi. Asunto Oy Metsälinnassa lämpöä tuotetaan teholtaan 95 kW:n pellettikattila, joka on yhdistetty 10 m<sup>3</sup>:n varastosiilon. Kokonaisuudessaan järjestelmä tuottaa kaiken tarvittavan lämpöenergian 32 kerrostalohuoneistoon. Vuoden 2007 lopulla tehty 30 000 euron investointi maksoi itsensä takaisin 3 vuodessa (Tuohiniitty 2010).

## 6.5 Muita toteutettuja kohteita

Suurissa kiinteistöissä pellettilämmitysjärjestelmä on vielä verrattain harvinainen. **Kerrostalo kohde asunto Oy Akaan Lallintie 9:ssä Viialassa** on vastaavasti päättänyt hankkimaan pellettilämmitysjärjestelmän lämmönmyyntisopimuksella ylläpitöineen (Pelletillä kestävää lähienergiaa 2011). Lämmityskeskus sijaitsee kerrostalon ulkopuolella erillisessä yksikössään sisältäen kaikki pellettilämmitykseen tarvittavat toimintalaitteet ja varastoalueen. Yksi pellettiyksikkö lämmittää kaikkiaan kolmea kerrostaloa. Pelletti tai muita puupohjaisia polttoaineita hyödyntävät alue- lämpölaitokset ovat sen sijaan melko yleisiä. Eräs näistä on **Rautalan Lämpö Oy**,

jossa tuotetaan yhdentoista kerrostalon lämmöntarve pääasiassa pelleteillä (Sepäpä 25.07.2011). Pelletti- tai muita puupohjaisia polttoaineita hyödyntävät alue-  
lämpölaitokset voidaan lukea kuuluvaksi alueelliseen energiantuotantoon, jota käsitellään tarkemmin kappaleessa 7.

## 7 ALUEELLINEN ENERGIATUOTANTO JA LÄHILÄMPÖVERKOSTOT

Alueelliset pienkaukolämpölaitokset ovat kohtuullisen yleisiä taajamien kaava-alueilla. Monet pienkaukolämpölaitokset tuottavat lämpöä puupohjaisilla polttoaineilla, kuten hakkeella. Näistä mainittakoon Haapamäen pellettikylä, Kuortaneen energiaosuuskunta ja Miehikkälän aluelämpö. Alueellinen kestävän kehityksen mukainen energiasuunnittelu on sen sijaan vielä harvinaista. Eri asuntomessualueet ovat jo vuosia esitelleet erityyppisiä pientalojen innovatiivisia lämmitysratkaisuja, joista merkittävin lienee edelleen Vaasan asuntomessualueen merilämpöön pohjautuva matalaenergiaverkko. Vuoden 2012 **asuntomessualue Tampereen Vuoreksessa** on sitä vastoin ollut osana ECO2 -ohjelmaa, jonka tavoitteena on pienentää tamperelaisten hiilijalanjälkeä yli 20 % vuoteen 2020 mennessä. Tämä ohjelma on huomioitu alueen kaavoituksessa, rakentamisessa ja liikenteen suunnittelussa sekä energiaratkaisuissa. Vuoreksen asuntomessualueen rakentajia on pyritty ohjaamaan *matala-, passiivi- ja nollaenergiatalojen* rakentamiseen (ECO2 -ohjelma, [viitattu 27.07.2012]).

**Renewable Energy Solutions in City Areas -hanke eli RESCA -hanke** pyrkii puolestaan kehittämään uusiutuvan energian toimintamalleja ja edistämään niiden tuotantoa kaupungeissa. Hankkeella pyritään luomaan noin 15 uusiutuvan energian teknologiasovellusta tai uusia toimintamalleja. RESCA -hankkeeseen osallistuvat Helsingin seudun ympäristöpalvelut, Tampereen, Turun, Oulun ja Vantaan kaupungit (RESCA, [viitattu 27.07.2012]). Kaupunkien kaavoitustyössä energiatehokkuuden ja energian tuotanto- ja jakotapojen huomioimista pyritään kehittämään *energiakaavalla*. Energiakaavan soveltamista tutkitaan **Porvoon Skaftkärrin kaavoituksen** yhteydessä. Tutkimuksen avulla pyritään löytämään myös uusia energiatuotantoyhtiöille sopivia palveluliiketoimintamalleja. Skaftkärrin kaavoituksessa huomioidaan yhdyskuntarakenne ja kustannukset, alueen energiankulutus ja -tuo-



tanto, liikenne ympäristövaikutuksineen, palvelut ja sosiaalinen ympäristö sekä rakennustavat ja uudet energiamuodot että niiden uudet toimintamallit. Useissa hankkeissa ja tutkimuksissa on pyritty selvittämään hajautetun tai paikallisesti tuotetun energian potentiaalia aluerakentamisen energiatuotantoratkaisuna. Porvoon Skaftkärriä vastaavia alueita on suunnitteilla tai kaavoitusvaiheessa esimerkiksi **Helsingin Östersundomiin** ja **Espoon Suurpeltoon** (Selvitys hajautetusta 2010, 9). Esimerkiksi Helsingin Östersundomin kaupunginosassa hyödynnettäisiin maalämpöä, aurinkolämpöä ja biopolttoaineita kaukolämmön tuottamisessa (Östersundomista vihreä lähiö 10.07.2011).

Suurin Suomessa toteutettu uusiutuvia energialähteitä käyttävä asuntoalue on Helsingin Eko-Viikkinä tunnettu hanke, jossa energiatekniset ratkaisut perustuivat kiinteistökohtaisiin järjestelmiin. **Kempeleen ekokorttelissa** energia tuotetaan vuorostaan keskitetyssä energiantuotantoyksikössä, joka palvelee yhteensä kymmentä omakotitaloa. Ekokorttelissa energia tuotetaan *CHP -laitoksella*, jolla tarkoitetaan yhdistettyä sähkön- ja lämpöenergiantuotantoa puukaasutuksella. Pyrolyysiprosessiin perustuvassa järjestelmässä tuotetaan energiaa 100 kW:n mikroCHP-laitoksella ja siihen on yhdistetty 25 kW:n puukaasugeneraattori. Laitos tuottaa pääasiassa sähköä, jonka sivutuotteena syntynyt lämpö käytetään kiinteistöjen lämmitykseen. Järjestelmässä on myös 6 000 ampeeritunnin akusto, 10 m<sup>3</sup>:n lämmivesivaraaja, varavoimageneraattori sekä tuulivoimala teholtaan 20 kW. Tuotettu sähkö ja lämpö johdetaan kulutuskohteisiin alueen oman sähkö- ja lämpöverkon kautta. Ekokorttelin lähilämpöverkostossa kiertää noin 65 °C:n vesi, joka on riittänyt talojen käyttöveden lämmittämiseen ja lattialämmitykseen (Selvitys hajautetusta 2010, 38). Energiantuotantoyksikön ja kulutuspisteiden verkostossa ei ole käytetty lainkaan lämmönvaihtimia. Kaikilta kiinteistöiltä edellytettiin liittymistä korttelin omaan aluelämpö ja -sähköverkkoon. Energiaosuuskunnan osakkuus maksoi 5 000 euroa ja verkoston rakentamismaksu samoin 5 000 euroa. Tuotetusta lämmöstä ja sähköstä veloitetaan kilowattituntikohtainen hinta kuluttajilta. Alueen rakentamista vauhdittivat suuret tonttikoot ja lähes kolmanneksen edullisempi neliö-

hinta verrattuna alueen yleiseen hintatasoon. Rakennetuilta kiinteistöiltä edellytettiin myös yltämistä energiatehokkuusluokkaan A. Alueen rakennustyöt aloitettiin 2009 ja ne ovat valmistuneet vuoden 2010 aikana, minkä vuoksi tarkkoja seurantatietoja kohteesta ei vielä ole saatavilla.

Matalaenergiarakentamista voidaan hyödyntää myös kaukolämmön yhteydessä kevennytyksen kaukolämmön avulla. Esimerkiksi **Helsingin Honkasuon alueelle** on kehitteillä matalalämpötilainen kaukolämpöverkko, jossa ensiöpuolen 115–80 °C:sen veden sijasta menoveden lämpötila onkin vain 80–65 °C. Tällä pyritään erityisesti tehostamaan energian kulutusta ja vähentämään kaukolämpöverkoston lämpöhäviöitä. Samalla matalampi ensiöpuolen menovesi mahdollistaa eri putkimateriaalivaihtoehdot. Matalampi kaukolämpövesi tuotetaan omassa teknisessä laitetilassaan sekoittamalla paluuvettä menoveteen, josta kaukolämpö johdetaan kiinteistökohtaisiin lämmönjakokeskuksiin. Järjestelmällä on tarkoitus tuottaa kiinteistöjen lämmöntarve, ilmanvaihdon tarvitsema jälkilämmitysenergia ja lämmin käyttövesi (Riipinen 2010).

Kaavoitusvaiheessa on jo useissa kohteissa pyritty huomioimaan energiantuotannon ympäristöystävällisyys ja tuotantomallin elinkaari sekä sen kokonaiskustannukset että energian tuotannon hiilijalanjälki. Osana Tekesin Kestävä yhdyskuntaohjelmaa vertailtiin **Joensuun Penttilänrannan** uudisrakennusalueen lämmitysvaihtoehtojen hiilijalanjälkiä. Selvitystyö on liitetty osaksi kaavoitusprosessia, jonka yhteydessä on tarkasteltu lämmitysenergian tuotantoa läheisessä Kuhasalon jätevedenpuhdistamolaitoksessa joko keskitetysti normaalin kaukolämpöverkon avulla tai *hajautettuna matalaenergiaverkkona*, jossa kiinteistöjen lämmöntuotto toteutettaisiin kohdekohtaisilla lämpöpumpuilla (Heikkonen 11.11.2010). Jäteveden hukkalämmön hyödyntämisen lisäksi tutkitaan *biomassan* ja CHP-laitoksen käyttömahdollisuutta Penttilänrannan alueella, jossa rakennusoikeutta on yhteensä 200 000 kerrosneliömetriä. Tällä hetkellä alueella rakennetaan yhdyskuntatekniikkaa ja

asuntorakentaminen on puolestaan käynnistynyt 2011 vuoden aikana (Hanke-suunnitelma 07.12.2010).

Jäteveden hukkalämpöä hyödynnetään jo **Helsingin Energian Katri Valan lämpö- ja jäähdytyslaitoksella**, josta saadut kokemukset ovat olleet myönteisiä (Jaakkola 2009). Laitos on maailman suurin sekä kaukolämpöä että -jäähdytystä tuottava yksikkö, jossa lämmönlähteenä toimii jäteveden sisältämä hukkaenergia. Katri Valan-laitoksen lämmön tuotantoteho on 90 MW kaukojäähdytyksen tuotantotehon ollessa 60 MW (Katri Valan lämpö- ja jäähdytyslaitos hyödyntää, [viitattu 12.09.2012]). Puhdistetun jäteveden lämpötila on 14–16 C°:n välillä sen saapuesssa lämpöpumpuille. Sen sisältämästä energiasta tuotetaan noin 26 % Helsingin tarvitsemasta kaukolämmöstä (Ekologista jäähdytystä 23.07.2012). Jätevesien hukkalämmön talteenottaminen lämpöpumppuyksiköiden avulla vaatii riittävän suuren jätevesivolyymien ollakseen kustannustehokasta. Samoin sen hyödyntämistä rajoittavat monissa kohteissa pitkät siirtomatkat, minkä vuoksi lämpöhäviöt kasvavat liian suuriksi. Tällä hetkellä jätevesien energian talteenottaminen olisi kannattavinta jakeluverkon ollessa lähellä ja jätevesivirtavolyymien ollessa riittävä. Katri Valan-laitoksella kannattavuutta on parantanut lämmön ja jäähdytyksen yhteistuotanto, jonka avulla lämpöpumppujen hyötysuhde on noussut korkeammaksi. Pienemmässä mittakaavassa jätevesien energian hyödyntämistä on kokeiltu muun muassa **Ruotsissa**, jossa **neljän asuinkerrostalon jätevesistä** saadaan talteen 40–70 MWh lämpöä vuodessa.

**Kontionlahden Suutelassa** 23 hehtaarin alueen asuntokanta koostuu pientalojen lisäksi pienkerros- ja rivitaloista. Alue on Suomen laajin energiatehokkaaseen rakentamiseen pyrkinyt puutaloalue. Suutelan alueen lämmitysenergian tuotanto oli tarkoitus toteuttaa kaikilta osin hakkeella toimivan lämpölaitoksen ja aluelämpöverkoston avulla. Kaavoitusvaiheessa alueen eteläpuolinen osio kaavoitettiin tiheämmin kuin pohjoinen osa. Tästä johtuen vain alueen eteläpuoleisella osalla on käytössä aluelämpöverkko. Pohjoisen osan pientalojen alhainen lämpökuorma ja liian

pitkä siirtomatka eivät mahdollistaneet alueen liittämistä aluelämpökeskukseen kannattavasti. Täten suurin osa pohjoisen alueen pientaloista on valinnut lämmitysmuodokseen vesikiertoisen sähkölämmityksen. Kontionlahden Sutelan alueen kaavoituksen myötä on todettu tiiviin aluerakentamisen olevan yksi edellytys uusiutuvia energialähteitä käyttävien aluelämpökeskusten kannattavuudelle. Kontionlahden Sutelaa ja Joensuun Penttilänrantaa vastaavia kohteita on suunnitteilla muun muassa **Vihannin Sauvonmäkeen**, jossa tavoitellaan energiatuotannon omavaraisuutta. Energiatehokkuutta ja matalaenergiarakentamisen alueita on suunnitteilla myös **Pudasjärvelle** sekä **lihin** (Puhakka & Makkonen 2011).

Kiristyneet rakentamismääräykset ja energiakulutus energiatehokkuusluokitukseen ovat tuoneet paineita kehittää kestävää suunnittelua ja rakentamista entisestään. Yhtenä esimerkkinä kestäväen suunnittelun ja rakentamisen toimintamallien kehittämisestä toimii **Low2No -konsepti**, jota Sitra, VVO Oyj ja SRV Oyj ovat kehittäneet. Hankkeessa toteutetaan **Helsingin Jätkäsaareen energia- ja innovaatiokortteli**, jossa päälämmitys tuotetaan kivihiilettömällä kaukolämmöllä. Vapaalla maalämmöllä tuotetaan ilmanvaihdon esilämmitys ja jäähdytyksestä huolehditaan kaukojäähdytyksen avulla. Lisäksi aurinkosähkö kattaa osan korttelin sähköntarpeesta (Low2No, Jätkäsaaren energia- ja innovaatiokortteli 13.01.2011). Hankkeen on määrä valmistua vuoden 2015 aikana ja se tulee koostumaan 200 asunnosta sekä toimistotiloista (Mikä Low2No?, [viitattu 27.07.2012]).

**Espoon Nupuriin** on sitä vastoin rakentumassa Suomen ensimmäinen alueellinen kalliolämpöratkaisu, joka koostuu 25 lämpökaivosta ja neljästä yhteensä 300 kW:n lämpöpumpusta sekä aurinkokeräinjärjestelmästä (Hellsten 19.03.2009). Valmistuessaan Espoon Nupurinkartanon alue on 560 asukkaan tiivis ja matalarakenteinen pientaloalue, joka koostuu rivi- ja paritaloasunnoista sekä erillistaloista (Nupurinkartanon suunnitelmat, [viitattu 27.07.2012]).

Uutta energiateknologiaa edustaa myös erityyppisten suurten tietokonesalien tuottaman lämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkostossa. Ensimmäinen **tietokonesali** joka on liitetty kaukojäähdytys- ja kaukolämmitysverkostoon sijaitsee **Helsingin Katajanokassa**. Sen tuottama lämpö riittää lämmittämään noin 500 omakotitaloa (Manninen 02.12.2009). Samaa tekniikkaa hyödynnetään **Elisa Oyj:n Espoossa** sijaitsevassa **tietokonesalissa**, josta talteenotettavaa lämpöä syntyy noin 20 000 MWh ja se vastaa noin 1 000 omakotitalon lämmöntarvetta vuodessa (Tervola 30.11.2011).

## **8 UUSIEN RAKENTAMISMÄÄRÄYSTEN VAIKUTUS ASUNTOTUOTANTOON JA EKOLOGISEN RAKENTAMISEN NÄKÖKOHDAT**

### **8.1 Uudet rakentamismääräykset ja rakenteiden tutkimus**

Viime vuosien aikana Suomen rakentamismääräyskokoelmaan on tullut merkittäviä muutoksia koskien uudisrakentamista. Vuoden 2010 uudistuksista merkittävin muutos sisältyi osioon C3, jonka tiukentuneet lämmönläpäisykertoimet johtivat väistämättä lämmöneristyskerroksen vahventamiseen. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 ja D3 viimeiset muutokset ovat tulleet voimaan 1.7.2012 (Suomen rakentamismääräyskokoelma, [viitattu 25.11.2012]). D -osan merkittävin muutokset liittyvät kokonaisenergiatarkasteluun. Täten D-osan nykyisten määräysten valossa erityyppisille rakennuksille määritetään kokonaisenergiakulutuksen yläraja, jota kuvaamaan käytetään *E-lukua*. E-luvun luvun laskennassa otetaan huomioon rakennuksen käyttämän energian tuotantomuoto (Rakennusten energia- ja ekotehokkuus 14.05.2012). Tällä hetkellä uudistukset ovat vain koskeneet uudisrakentamista, mutta myös korjausrakentamista koskevat energiamääräykset ovat ympäristöministeriössä valmisteilla. Korjausrakentamisen energiatehokkuusmääräykset on tarkoitus astua voimaan vuoden 2013 alussa, jonka jälkeen luvanvaraisissa korjausrakentamishankkeissa olisi energiatehokkuus otettava huomioon, mikäli se on teknillisesti, toiminnallisesti tai taloudellisesti mahdollista (Heikkonen 07.06.2012).

Vuoden 2010 uudistukset rakentamismääräyskokoelmassa, erityisesti lämmönläpäisykertoimet, aiheuttavat edelleen voimakasta keskustelua. Useat tutkimukset varoittivat kosteusriskien kasvamisesta jo ennen määräysten voimaan astumista. Vuoden 2011 lopussa julkistetussa Frame-tutkimusprojektissa todettiin monien tavanomaisten vaipparakenteiden ja niiden lämmöneristyksen lisäyksen yhdessä il-

mastomuutoksen kanssa johtavan kosteusvaurioiden riskin kasvuun (Vinha 01.12.2011). Tutkimuksessa myös todetaan, että lämmönerityksen lisäys ja ilmastomuutos eivät vaikuta kaikkiin rakenteisiin haitallisesti. Tuloksien mukaan osaan rakenteista olisi kuitenkin tehtävä muutoksia rakennusfysikaalisen toimivuuden varmentamiseksi. Huolenaiheina olleet kosteustekninen toimivuus ja rakenteiden sisäinen konvektio ovat joiltakin osin osoittautuneet todeksi. Aalto-yliopiston tekemässä tutkimuksessa vuorostaan todetaan jäähdytystarpeen kasvavan ilmasto-  
muutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen myötä (Vinha 24.11.2011). Frame-tutkimuksessa on lisäksi todettu, että lämmöneristyksen lisääminen vuoden 2010 tasosta ei ole kannattavaa kerrostalojen ostoenergian säästön marginaalisuuden vuoksi. Jäähdytystarpeen kasvaessa huomiota joudutaan väistämättä kiinnittämään myös jäähdytyksen energiankulutukseen. *Ilmanvaihtojärjestelmän ominais-sähköteho* saa Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan vain erikoistapauksissa ylittää arvon  $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$  (Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D2, [viitattu 25.11.2012]). Suunnittelussa tämä on johtanut muun muassa ilmanvaihtokanaviston väljempään mitoitukseen. Uusia ratkaisua jäähdytystarpeen kattamiselle haetaan kuitenkin kiihkeästi. Yhtenä esimerkkinä mainittakoon **Skanskan kehittämä maakylmäratkaisu**, jonka **pilottikohde** rakentuu **Tukholmaan**. Ratkaisussa porakaivossa kiertänyt vesi jäähdyttää tuloilmaa ja huonelämpötilaa korjataan ylimitoitettujen jäähdytyspalkkien kautta. Tuloilman jäähdytyksessä käytetään suuria jäähdytyspatteripintoja ja pientä ilmannopeutta. Itsellään koneettomasti toimiva jäähdytysratkaisu vaatii kuitenkin kylmävaraston putkistoineen, lämmönvaihtimen maasta tulevalle kylmälle ilmalle sekä patterit ja putket kylmän maahan latausta varten, joiden lisäksi jäähdytyspalkistojen tulee olla pinta-alaltaan perinteistä ratkaisua suuremmat. Tuloilma jaetaan kohteisiin suuren kanavan kautta venttiilien avulla ja ilmavirransäätimiä käytetään vain erikoistiloissa, joissa ilmanvaihdon tarve ei ole tasainen. Maasta tulevaa kylmää voidaan tehokkaasti hyödyntää myös tuloilman esilämmittämiseen. Järjestelmän on laskettu kuluttavan sähköä vähemmän kuin  $1 \text{ kW}/\text{m}^2$ :ä kohden kun tarkastelujaksona on vuosi. Pienestä säh-

kön kulutuksesta ja energiatehokkaasta olemuksestaan huolimatta järjestelmää ei ole vielä rakennuttu Suomessa (Ahti-Virtanen 2010).

Uusien rakentamismääräysten myötä rakenteiden tutkimus on erittäin ajankohtaista. Vaasaan Teirinkadulle rakennettuihin kahteen kerrostaloon onkin asennettu tällä hetkellä Suomen suurin rakenteiden tutkimusjärjestelmä. Kaikki alueen neljä kerrostaloa hyödyntävät maa- ja aurinkolämpöä, kuten kappaleessa 5.4.1 on kerrottu. Teirinkatu 1 A-kerrostalo on toteutettu vuoden 2009 rakentamismääräysten mukaan ja Teirinkatu 1 B-kerrostalo tiukentuneiden vuoden 2010 rakentamismääräysten mukaan (Korpi, E. 2010). Tilasuunnittelultaan ja rakenteeltaan kohteet ovat täysin identtisiä, rakennukset eroavat toisistaan vain eristepaksuuden suhteen. Pääasiassa lämmöneristys on toteutettu kohteissa mineraalivillalla (Korpi, M. 2011). Kiinteistöihin asennetut anturit mittaavat eristeen suhteellista kosteutta ja lämpötiloja, joita voi seurata reaaliajassa. Seurantahanke kestää vuoden 2012 loppuun asti (Matalaenergia 2, [viitattu 08.08.2012]). Rakentamisvaiheessa kohteissa on kiinnitetty erityistä huomiota tiiviyteen, höyrynsulun yhtenäisyyteen ja työntekijöiden opastukseen ja koulutukseen. Kuluvan vuoden loppuun mennessä kohteet tulevat tarjoamaan kattavasti tietoa rakenteiden käyttäytymisestä ja toimivuudesta, erityisesti kosteuden osalta sekä mineraalivillan toimivuudesta paksummissa eristerakenteissa.

Suomen rakentamismääräysten uudistus vuonna 2010 toi mukaan 30% kiristyneet määräykset ja vielä heinäkuussa vuonna 2012 tehdyt muutokset toivat tullessaan 20 % tiukentuneet vaatimukset. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 määritellään vuoden 2012 muutosten mukaisesti kokonaisenergiakulutuksen raja-arvot rakennustyypeittäin. Asuinkerrostalojen E-luku ei saa ylittää 130 kWh/m<sup>2</sup> kun tarkastelujaksona on vuosi (Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3, [viitattu 21.08.2012]). Isot rakennusliikkeet ovat jo suurilta osin saavuttaneet uudet määräykset ennen niiden voimaan astumista (Leinonen & Mölsä 24.11.2011). Muutokset tuovat kuitenkin aina mukanaan myös muutospaineita. Osittain uusia



muutoksia rakentamismääräyskokoelmassa on moitittu liian kireästä toteutusaika-  
taulusta, jonka lisäksi nollaenergiatason saavuttamista Euroopan Unionin energia-  
direktiivin mukaisesti vuoteen 2020 mennessä pidetään suurelta osin epärealisti-  
sena. Lisäksi energiatehokkuudesta käytettävät käsitteet ovat vielä joiltain osin  
epäselviä (Hellsten 02.10.2008). Suomen rakennusmääräysten muutosten myötä  
myös matalaenergiatalon määritelmä muuttui. Nykyisellään matalaenergiatalon  
laskennalliset lämpöhäviöt saavat olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä  
vertailulämpöhäviöstä (Matalaenergiatalon määritelmiä 2011). Passiivitalon määri-  
telmä vaihtelee Euroopan eri alueiden välillä. Suomessa passiivitalon lämmitys-  
energiatarve on alueesta riippuen 20–30 kWh/m<sup>2</sup>/a ilmanvuotoluvun ollessa pie-  
nempi kuin 0,6 kertaa tunnissa. Näiden lisäksi ilmanvaihtojärjestelmän tulisi olla  
hyötysuhteeltaan korkea. Myös nolla- ja *plusenergiatalojen* määritykset ovat vielä  
avoinna. VTT:n mukaan Suomen ilmastoon sopisi parhaiten energian kokonaisku-  
lutuksen mukainen määritelmä, jossa tuotetun uusiutuvan energian ylijäämä on  
vähintään yhtä suuri kuin käytetyn uusiutumattoman energian määrä. Plusenergia-  
talo vuorostaan tuottaa energiaa enemmän kuin se kuluttaa.

## 8.2 Nollaenergiakohteet Suomessa

Erityisesti kerrostalotuotannossa matalaenergiarakentaminen on yleistynyt merkit-  
tävästi ja moni yritys pyrkii leimaantumaaan energiatehokkaaksi ja kestäväen kehi-  
tyksen mukaisen rakentamisen suuntaan. Suomessa on valmistunut kaksi **nolla-  
energiataloa**, joista ensimmäinen valmistui **Kuopioon** maaliskuussa 2011. (Kuo-  
pion talo–hankkeen esittely, [viitattu 10.08.2012]) Hankkeiden toteuttamisessa mu-  
kana ovat olleet Asumisen rahoitus ja kehittämiskeskus (ARA), Tekes ja Sitra. Kuopioon valmistunut kohde on ollut aravarahoitteinen ja sen on rakennuttanut Kuopion Opiskelija-asunnot Oy. Asuntola Puuseppä on viisikerroksinen 45 esteetöntä opiskelija-asuntoa sisältävä kohde, jonka lämmitettävä bruttopinta-ala yhteensä 2 124 m<sup>2</sup>. Hankkeen suunnitteluvaiheessa on otettu huomioon lämmitys-

energian tarpeen pienentäminen, kustannustehokkuus, energiatehokas valaistusjärjestelmä, lämpökuormien hallinta kesäajalla sekä energiatehokas talotekniikka ja kodinkonevalikoima.

VTT on osallistunut hankkeeseen tutkimalla kohteen energiankulutusta. Simuloidessa ominaislämmitystarvetta VTT Talo -ohjelmalla saatiin kohteelle arvo 11,2 kWh/m<sup>2</sup>/a. Energiaa kohde ostaa hieman reilut 21 MWh, joka neliötä kohden on noin 9,9 kWh/a. Oman käytön ohella energiaa kuitenkin myös myydään yli 19 MWh kiinteistön alla sijaitsevaan autohalliin, josta muodostuu kiinteistöstä erillinen yhtiö. Oma energiatuotanto kattaa kiinteistön energian tarpeesta 80 %, josta kolmannes tuotetaan aurinkoenergialla ja toinen kolmannes ilmaisenergialla. Kokonaisenergian kulutuksesta suurin osa kuluu ilmanvaihtojärjestelmässä, vaikka kohteessa onkin käytetty lämmöntalteenottolaitetta, jonka vuosihyötysuhde on 75 %. Yhden asunnon energiakulutus maksaa vuodessa vain 4,20 euroa. Hanke on säävuttanut VTT:n mukaisen määritelmän nollaenergiatalosta, sillä kiinteistössä tuotetaan enemmän energiaa kuin sitä ostetaan.

Kohteessa on käytetty paljon edistyksellistä talotekniikkaa muun muassa ilmanvaihdon esilämmitys ja jäähdytys toteutetaan glykoliliuoskierteisin patterein maalämpökaivojen avulla. Lämpöä tuotetaan kohteessa myös katolle sijoitettujen 36 tyhjiöputkikeräimen avulla ja sähköä aurinkopaneelien avulla. Aurinkopaneelien lippaanomainen sijoitus estää parvekkeettomien asuntojen ylikuumenemista. Kuopion nollaenergiatalossa myös hissin jarrutusenergia hyödynnetään, jonka lisäksi kosteiden tilojen lattialämmitys kiertää myös huoneistojen ulkoseinällä ikkunoiden huurtumisen estämiseksi. Lämpimän käyttöveden kulutusta seurataan kohteessa ja kulutuksen ylittyessä ohjataan asukkaita energiatehokkaampaan suuntaan. Ilmi-asun puolesta kiinteistö erottuu yleisestä rakentamistavasta erittäin yksinkertaisen muodon ja pienten ikkunoiden vuoksi. Rakennerratkaisuna on käytetty sandwich-elementtejä, joiden ulkokuoren vahvuus on 100 mm, sisäkuoren vahvuus 150 mm ja polyuretaanieristeen paksuus 300 mm. Vaipparakenteen tiiviyyttä parannettiin

kiinnittämällä huomiota ikkunan asennuksiin ja poistamalla kaikki sähköpistokkeet ulkoseiniltä. Yläpohjassa on välttytty läpivienneiltä johtamalla ilmanvaihdon kanavat seinästä ulos. Talotekniikka vie kuitenkin alakatoissa runsaasti tilaa ja ahtauttaa tiloja tätä kautta. Yläpohja on toteutettu polyuretaanieristeen ja ontelolaattojen yhdistelmällä sekä tuulettuvalla kevytsorakerroksella, jolla on saavutettu lämmönläpäisykerroin  $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$  kohden. Rakenteiden U-arvot alittivat reilusti vuoden 2009 vaaditut maksimi-arvot ilmanvuotoluvun ollessa 0,4 kertaa tunnissa. (Virta 2011). Tulevaisuudessa seuranta tulee tarkentamaan toteutuneita energian tuotantoarvoja.

Toinen nollaenergiakohteista on rakentunut Järvenpäähän Järvenpään Mestari-asunnot Oy:n rakennuttamana. Järvenpään hankkeessa pyrittiin hyödyntämään kaikki se tieto mitä Kuopion hankkeesta saatiin. Samoin kuin Kuopion hanke on **Järvenpääinkin nollaenergiatalo** rakennettu purettavan vanhan kerrostalon tilalle. Rakenteellisesti kiinteistö eroaa Kuopion nollaenergiatalosta jonkin verran. Esimerkiksi ei kantavissa ulkoseinäelementeissä on käytetty 300 mm polyuretaanin lisäksi ulkokuoressa 100 mm teräsbetonia ja sisäkuoressa 80 mm vahvuista teräsbetonia ja yläpohjassa ontelolaattojen lisäksi 560 mm vahvuista polystyreenikerrosta lämmönläpäisykerroimen ollessa  $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Kuokkanen 2010). Rakennuksen ranka koostuu betonirunkoisista sandwich-elementeistä, teräsbetoniväliseinistä ja ontelolaattavälipohjista ja se on perustettu maanvaraisesti.

Järvenpään Jampankaarella sijaitseva kohde on sisältänyt kaiken kaikkiaan kolme vaihetta, joista viimeisimpänä on toteutettu nollaenergiatalo. Kokonaisuudessaan kolme kerrostaloa muodostavat vanhuksille tarkoitetun palvelupihan. Järvenpään nollaenergiatalo koostuu yhteensä 44 asunnosta huoneistoalan ollessa  $1\,785 \text{ m}^2$  ja sijoittuu kuuteen kerrokseen.

Vertailtaessa vanhan kerrostalon peruskorjaukseen olivat kokonaiskustannukset neliötä kohden 2 530 euroa ja nollaenergiahankkeessa 2 870 euroa. Vuokrataso

uudiskohteessa on noin 10 €/m<sup>2</sup> kun se peruskorjatussa kohteessa olisi ollut noin 12 €/m<sup>2</sup>. Hankkeen kokonaiskustannukset ilman kehittämiskustannuksia olivat hie-  
man yli viisi miljoonaa euroa arvonlisäveroineen. (Simunaniemi 2010.) Kohde on valmistunut alkuvuodesta 2011.

Järvenpäässä energiaa tuotetaan useilla eri tavoilla, joista yksi on aurinkoenergia. Aurinkolämmöllä pystytään kattamaan noin kaksi kolmasosaa kiinteistön lämmön-  
tarpeesta ja maalämmön avulla noin 17 % sekä lämmöntalteenottolaitteella noin 20 % kiinteistön lämmöntarpeesta. Kesäaikainen jäähdytys tuotetaan maalämmöl-  
lä, joka koostuu kahdesta 200 m syvästä porakaivosta. Muu kertyvä maalämpö hyödynnetään lattialämmityksessä ja ilman esilämmityksessä. Ilmanvaihto hoide-  
taan kohteessa huoneistokohtaisesti, joista jokaisessa on omat lämmöntalteenot-  
toyksiköt. LTO-laitteistot ovat ristivirtakennoisia hyötysuhteen ollessa yli 80 %. Näi-  
den lisäksi kiinteistössä tuotetaan sähköä sekä hissin jarrutusenergiasta että au-  
rinkopaneelien avulla. Aurinkopaneelisto sijaitsee kohteen katolla ja koostuu 72  
paneelista yksittäisen paneelin alan ollessa 1,5 m<sup>2</sup>. Lämpöä kerätään käyttöveden  
tuottoa varten vuorostaan 35 keräimellä, jotka ovat kukin alaltaan 2,5 m<sup>2</sup>:n kokoi-  
sia tyhjiöputkikeräimiä. Tällä hetkellä laskennallisesti kohteessa tarvittava lämmi-  
tyksen kokonaisenergiamäärä on 16,4 kWh/m<sup>3</sup>. Oman tuotannon, aurinko-, ilmais-  
ja maalämpötuoton on laskettu kattavan koko tarve, jolloin kiinteistö tuottaisi ener-  
giaa yli tarpeensa ja energiaa jäisi vuodessa myytäväksi noin 4500 kWh:n edestä.  
Tässä tapauksessa kiinteistö täyttäisi plusenergiatalon määritelmän. Sähkön tuo-  
tannon suhteen kohteessa on käytössä nettomittarointi ja ylimääräinen aurinko-  
lämpö myydään palvelupihan toiselle kiinteistölle. Joitakin puutteita nollaenergiata-  
lorakentamisessa havaittiin Järvenpäässä, sillä paksut seinät ja runsas raudoitus  
estivät matkapuhelinverkon toiminnan kiinteistössä. Tästä syystä kiinteistöön ra-  
kennettiin sisäinen matkapuhelinverkko (Peltoranta 2011). Kuopion nollaenergia-  
hankkeen tavoin energian kulutusta ja tuotantoa seurataan tarkoin ja tulevaisuu-  
dessa ne tulevat tarjoamaan paljon uutta tietoa nollaenergiarakentamisesta ja sen  
mahdollisuuksista Suomessa.

### 8.3 Ilmastotavoitteet ja sen vaikutus rakentamiseen

Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivin myötä tehdyt muutokset Suomen rakentamismääräyskokoelmassa ohjaavat uudisrakentamisen energiatehokkuutta ja sen tuotantotapoja. Suomi on myös asettanut kansallisia ilmastotavoitteita, jotka Euroopan Unioni on hyväksynyt. Päästökauppasektorin ulkopuolelle on kasvihuonekaasupäästöjen osalta asetettu 16 %:n vähennystavoite vuoden 2005 tasosta (Finland's Fifth 2009). Ilmastotavoitteet koskevat läheisesti myös rakennustoimintaa, jossa onkin virinnyt runsaasti koehankkeita rakennusten hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Yhtenä esimerkkinä rakennuskannan hiilijalanjäljen pienentämisestä mainittakoon puukerrostalot. Tyypillisesti Suomessa rakennetut puukerrostalot ovat olleet enintään kolmikerroksisia, mutta **Heinolan Vierumäelle** on valmistunut vuonna 2011 viisikerroksinen passiivienenergiatasoinen **puukerrostalo**. Vierumäen puukerrostalo saa tarvitsemansa lämpöenergian kaukolämmöstä, jonka tuottamiseen käytetään uusiutuvia polttoaineita. Lisäksi **Helsingin Viikissä** on aloitettu vuoden 2011 aikana **kuuden puukerrostalon** rakentaminen, jossa käytetään Finnforestin luomaa kerrostalojärjestelmää. Toimitilarakentamisessa on myös hyödynnetty laajamittaista puurakentamista, joista mainittakoon **Metsähallituksen Pilke -rakennus Rovaniemellä** ja vuodeksi 2013 valmistuva kestävän rakentamisen esimerkkihanke **Suomen Ympäristökeskuksen Synergia-talo Helsingissä** (Puukerrostalot Suomessa, [viitattu 10.08.2012]). Puukerrostaloja on Suomessa arviolta hieman yli kolmekymmentä (Törmänen 2010). Niiden rakentamista ovat rajoittaneet korkeat rakennuskustannukset ja palo- sekä kosteustekniikan hallinta kohteissa. Tuoreen VTT:n tutkimuksen mukaan puukerrostalojen muodostaessa 22 %:n osuuden uudisrakentamisesta saavutettaisiin sillä 13 %:n vuotuinen kasvihuonekaasupäästövähennys. Lisäksi Suomen hallitusohjelman mukaisesti puukerrostalojen osuus kerrostalotuotannosta pyritään nostamaan 1 %:sta 10 %:iin tämän hetkisen hallituskauden aikana (VTT selvitti 15.06.2012).

#### 8.4 Rakennusten ympäristöluokitukset

Rakentamista ohjataan yhä voimakkaammin kohti ekologista ja kestävän kehityksen mukaista suuntaa, josta energiatekniikka on vain yksi osa. Kehityksen myötä myös rakennusten ympäristöluokitukset ovat hitaasti yleistyneet. Suomessa käytetään pääasiassa kolmea eri ympäristöluokitusta, joita ovat kotimainen PromisE, Building Research Establishment Environmental Assessment Method eli BREEAM-luokitusjärjestelmä ja Leadership in Energy and Environmental design eli LEED-sertifiointijärjestelmä. Kansallisesti käytettyä PromisE-luokitusta voi hakea toimistorakennusten ja kauppakiinteistöjen lisäksi asuinkerrostaloille. PromisE-luokitus voidaan tehdä uudisrakennushankkeelle tai jo olemassa olevalle kiinteistölle ja sen pääasiallisena tavoitteena on arvioida kiinteistön merkittävimpiä vaikutuksia ympäristöön (PromisE, [viitattu 10.08.2012]; Rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmät 23.01.2012). BREEAM-luokitusta voidaan hakea useille eri kiinteistötyypeille kuten kerrostaloille, toimistorakennuksille ja julkisen sektorin rakennuksille sekä kouluille (BREEAM, How to get, [viitattu 10.08.2012]). BREEAM-järjestelmässä tarkastellaan kiinteistön hallintaa, energian ja veden kulutusta, käytettyjä materiaaleja, maankäyttöä sekä liikennettä. Kiinteistön taso arvioidaan arvosanoin. Hyväksytyjä BREEAM-kohteita ei vielä toistaiseksi ole, mutta NCC Property Development Oy toteuttaa muun muassa toimistokohteensa BREEAM-sertifiointijärjestelmän mukaisesti ja tavoittelevat energiatehokkuudessa luokkaa A. (Green Building Council Finland, [viitattu 10.08.2012]; NCC Toimitilat, [viitattu 10.08.2012]). LEED-sertifiointi on kansainvälisesti tunnettu ja siinä arvioidaan rakennuksen, sen tilojen ja itse rakennushankkeen ympäristöominaisuuksia. LEED-järjestelmässä on neljä tasoa sertifioidusta tasosta platina tasoon asti. LEED-sertifiointi voidaan hakea uudisrakennukselle tai olemassa olevalle kiinteistölle. Suomessa useampi kauppakeskus ja toimistorakennus on saavuttanut LEED-sertifikaatin (Esimerkkikohteita, [viitattu 10.08.2012]). Energiatehokkuutta pyritään sertifiointijärjestelmien lisäksi ohjaamaan myös vapaaehtoisen energiatehokkuussopimuksen puitteissa. Eri toi-

mialat huomioiden energiatehokkuussopimukseen on kirjattu muun muassa energian vähennystavoitteita, energiatehokkuuden parantamisen ja sen säästön tavoitteita. Vapaaehtoinen sopimus on voimassa vuosien 2010 ja 2016 välisen ajan (Energiatehokkuussopimukset 2012). Hiljattain tehdyssä tutkimuksessa todettiin vihreän rakentamisen vähentävän noin 8–9 % kiinteistön käyttökustannuksista, kasvattavan sen arvoa noin 7,5 % ja parantavan sijoitetun pääoman tuottoa keskimäärin 6,6 % vuokratulojen ollessa noin 3 % korkeammat verrattuna tavanomaiseen rakentamiseen (Hellsten & Korhonen 21.01.2010).

## **9 KOHTI TASAPAINOISTETTÄ – ENERGIAATEKNISTEN PILOTTIPROJEKTIEEN KEHITYSTÄ HIDASTAVAT JA EDISTÄVÄT TEKIJÄT**

Pilottihankkeet ovat välttämätön osa kehitystä. Ne luovat raamit uusien innovaatioiden käyttöönottamiselle ja ovat oleellisesti välttämätön osa tuotekehitystä. Suurin kehitystä jarruttava tekijä perustuu tavanomaisesti kustannussyihin. Tämä on selvästi nähtävissä muun muassa aurinkoenergian hyödyntämisessä. Vaikka aurinkoenergian suhteellinen säteily määrä on Suomessa lähes sama kuin aurinkoenergian kärkimaassa Saksassa ei oikeiden olosuhteiden olemassaolo ole luonut riittäviä markkinoita aurinkoenergiatekniikalle. Suomen kannalta auringon säteily määrän vuodenaikaisvaihtelut ovat Saksan säteilyolosuhteisiin verrattuna mittavat. Kuitenkin kesäaikana Suomessa kertyy säteilyä enemmän kuin Saksassa ja tämä tasoittaa lopulta vuositasolla tarkasteltuna kahden maan välisiä eroja. Kesällä optimaalisemmasta kulmasta paistava aurinko ei kuitenkaan ole auttanut aurinkoenergiamarkkinoiden kehittymistä Suomessa.

Uudet Suomen rakentamismääräykset ja vihreän rakentamisen-ideologia ovat kuitenkin luoneet aurinkoenergialle selvän hyödyntämismahdollisuuden, josta esimerkkinä toimivat primäärienergianaan maalämpöä hyödyntävät kerrostalohankkeet, jotka on varustettu myös aurinkolämpöjärjestelmillä. Aurinkoenergiateknologian kehittyminen on huomattavasti parantanut järjestelmien tuottavuutta, mutta sen yleistymistä jarruttaa edelleen investoinnin suuruus. Aurinkosähkön merkittävien kehityksen jarrutekijä on vuorostaan syöttötariffin puuttuminen. Markkinoiden puuttuminen vaikuttaa vääjäämättä myös teknologian kehitykseen ja vaikka uusia aurinkoenergiajärjestelmiä kehitettäisiinkin, erityisesti maailmanlaajuisten aurinkoenergiamarkkinoiden kasvaessa, eivät ne saa jalansijaa Suomessa ilman rohkeaa koerakentamista. Taloudellisuuteen kaikin puolin painottuva rakentamisen kustannustehokkuus ei luo riittäviä edellytyksiä kattavalle pilottirakentamiselle. Esimerkki-



nä mainittakoon Ruukki Oyj:n kehittämä aurinkosähköä tuottava julkisivuelementti. Yksi elementillä verhoiltu seinäneliö tuottaa vuodessa noin 78 kWh sähköä asennuksen maksaessa suunnilleen 700 €/m<sup>2</sup> (Jaakkola 2012). Täten on selvää, että vaikka sähköntuottokyky olisikin elementillä hyvä ei se kustannussyistä lyö itseään läpi markkinoilla. Aurinkoenergian merkittävä etu piilee kuitenkin sen integroitavuudessa ja aurinkopaneelien erilaisten pintojen arkkitehtonisessa hyödynnettävyydessä. Energian tuotanto sulautuu täten osaksi rakennusta, toisin kuin tuulivoimassa.

Tuulivoiman hyödynnettävyyttä talonrakentamisessa vaikeuttavat erityisesti meluongelmat ja tärinän vaimennuksen tarve sekä energiamuotoon liittyvät lupakäytännöt. Tuulivoima vaikuttaa myös merkittävästi maisemakuvaan ja ympäristöön. Ennen kaikkea tuulivoiman käytön edellytyksenä on riittävien tuuliolosuhteiden todentaminen. Sen soveltuvuutta talonrakentamiseen hidastavat pääosin samat ongelmat kuin aurinkoenergiaakin, mutta tiheästi asutuilla alueilla ja kaavoituksessa tuulivoima on maisemakuvallisen vaikutuksensa takia pahasti vastatuulella. Tämä käy erittäin hyvin ilmi kiinteistö Oy Kummatin pilottihankkeesta, jossa on nähtävillä selvästi asenteiden vaikutus hankkeeseen. Vaikka negatiivista asennoitumista tuulivoimahankkeeseen onkin perusteltu teknisillä argumenteilla tarvitaan kuitenkin koerakentamista ennen kuin uusiutuvien energioiden hyödyntämispotentiaali voidaan tuomita kokonaan. Tuulivoiman todellinen mahdollisuus Suomessa lienee kuitenkin suurilta osin rajoittunut teolliseen tuotantoon. Haja-asutusalueiden ja maatalouskeskusten energiantuottajana tuulivoima voisi tuuliolosuhteiden suomissa rajoissa tuoda yhden ratkaisun ekologisempaan energiantuotantomalliin.

Sen sijaan geoenergialla on jo Suomessa pysyvä asema. Sitä on menestyksellä kokeiltu suurissakin hankkeissa ja sen käyttö on yleistynyt muun muassa kerrostalorakentamisessa. Vaasan asuntomessujen energiaomavarainen asuntoalue perustuu sekin geoenergian hyödyntämiseen. Todellinen maalämmön haaste painottuu maanalaisen rakentamisen oikeuksiin. Maankäyttö- ja rakennusasetuk-

sen uudistuksella 1.5.2011 säädettiin maalämmön keruuputkistojen asentaminen ja lämpökaivon poraaminen toimenpideluvan alaiseksi (A 10.9.1999/895). Asetuksen muutoksella on pyritty yhtenäistämään kirjavaa lupakäytäntöä. Tämän myötä myös saneerattaessa kiinteistöä maalämpöä hyödyntäväksi tarvitaan hankkeen toteutukseen toimenpidelupa. Maalämpö eri toteutusmuotoineen on ympäristölle kokonaisuudessaan melko haitaton, mutta sen käytössä olisi huomioitava kuitenkin porauksen aikaiset riskit ympäristölle sekä mahdolliset lämmönkeruunesteen vuotoriskit. Erityisesti ympäristönäkökulma olisi huomioitava tärkeillä pohjavesialueilla. Riskien vähäisyyksien vuoksi niitä ei kuitenkaan tulisi vähätellä. Samalla tulisi huomioida ettei lupakäytännöistä tehdä estettä tehokkaan ja ekologisen lämmitystavan valinnalle. Poraustoimintaa tarjoavien yritysten toimintaakaan ei tulisi hankaloittaa siinä määrin, että se aiheuttaisi hankintahinnan selvän nousun.

Vaikka geoenergialla onkin jo selvä sija suomalaisessa energiantuotannossa ei sen täyttää potentiaalia ole vielä hyödynnetty. Laajat paikoitusalueet ja rakennusten paaluperustukset lämmönkeruujärjestelmissä jäävät enimmäkseen käyttämättä, vaikka teknisesti se olisikin mahdollista. Samoin geoenergian jäähdytyspotentiaali olisi otettava huomioon kattavammin, sillä kesällä huonetilaa selvästi viileämmän lämmönkeruunesteen jäähdytyskyky voidaan hyödyntää kohtuullisen kustannustehokkaasti. Useissa tapauksissa pelkällä kiertopumpulla ja jäähdytyspatterin avulla saavutetaan riittävä jäähdytystaso. Vahvempi lämmöneristys rakennuksissa yhdistettynä ilmaston lämpenemiseen tulee merkittävästi vielä nostamaan jäähdytystarvetta, vaikka asuntorakentamisessa kyse olisikin vain enemmän mukavuustekijästä.

Geoenergian suosion noustessa myös alueelliset energiaratkaisut ja lähilämpöverkostot ovat selvästi kehittyneet ekologisen energiantuotannon suuntaan. Erityisen selvästi suurta potentiaalia piilee jätevesien hukkalämmön hyödyntämisessä kun kyseessä on tiheästi asutettu alue. Muissakin yhdyskunnan välttämättömistä toiminnoista syntyy energiaa, jota ei Suomessa vielä tavoitteellisesti hyödynnetä.

Tästä mainittakoon yhdyskuntajätteen käsittelypaikat ja jätteiden polttolaitokset. Ennen jätteiden loppusijoittamista tulisi pohtia materiaalin tehokasta hyödyntämistä myös energiatekniseltä kannalta. Kierrätys on oleellinen osa jätteiden käsittelyä ja erityisen tärkeää puhuttaessa sellaisista materiaaleista, joiden varannot eivät ole ehtymättömiä. Ympäristön kannalta kuitenkin pyritään vähentämään loppusijoittamista, jolloin jätteen polttamista tai mädättämistä energiaksi ei tulisi täysin ohittaa. Tehokkailla savukaasupuhdistusmenetelmillä kierrätykseen kelpaamaton materiaali pystytään polttamalla muuntamaan lämmitysenergiaksi.

Alueellisten energiaratkaisujen ja lähilämpöverkostojen yleistyminen ovat selvä merkki kaukolämmöntuotannon markkinaosuuden pienenemisestä. Kaukolämmön hintatason merkittävä nousu ja samalla esiin nousseet eturistiriidat ovat huomattavia takaiskuja kaukolämmön hyödyntämiselle. Yhteiskunnan ja lainsäädännön sekä määräysten tukiessa uusiutuvien energiamuotojen käyttämistä ei kaukolämpöverkostoon pakkoliittämistä voida enää pitää vaihtoehtona. Valinnan tulisi olla vapaaehtoinen ja erityisesti niissä tilanteissa kun kaukolämpölaitos tuottaa energian uusiutumattomilla energialähteillä. Monet kunnat ja kaupungit ajautuvat selvään ristiriitatilanteeseen, sillä useat kaukolämpölaitokset ovat juuri kaupunkien ja kuntien omistuksessa yhtiötetyssä muodossa. Olisiko kehitystä täten suunnattava asiakaslähtöisemmin ja keskittymällä kaukolämpölaitoksen kilpailukyvyn parantamiseen. Myöskään oikeudellisesti pakkoliitosta ei enää voida edellyttää. Täten hintatason jatkuva kasvu ajaa kaukolämpöyhtiöt ennemmin tai myöhemmin siihen tilanteeseen, jolloin kuluttaja ei ole itsestään selvä asia vaan kuluttajista on ruvetta-va kilpailemaan. Nykyisin lämmitysmuodon valintaa ohjaavat lähes poikkeuksetta investoinnin suuruus ja käytön aikaiset kustannukset, siitä syystä geoenergia haastaa monin paikoin kaukolämmön kilpakumppanikseen. Kaukolämmön olisi päästävä erityisesti käytön aikaisissa kustannuksissa samaan hintatasoon maalämpöjärjestelmien kanssa pyrkien samalla säilyttämään kilpailukykynsä vakauttamalla hintatasoaan.

Suomessa toimii myös lukuisia lämmöntuottajia, jotka hyödyntävät puuperäisiä tuotteita lämmöntuotannossa. Vielä 1900 -luvun lopulla kantojen ja kaiken puumateriaalin kerääminen päätehakkuilta oli täysin vierasta. Nykyisellään energiapuun hyödyntäminen on noussut merkittävästi. Vaikka tässä yhteydessä onkin kyse uusiutuvasta luonnonvarasta, on mielestäni asiaa mietittävä myös maaperän ravintotaseen säilymisen kannalta. Ajaudutaanko energiapuun käytössä lopulta siihen tilanteeseen, että metsiä joudutaan lannoittamaan kasvuenergian takaamiseksi. Tämä toisaalta vesittäisi pyrkimyksiä vesistöjemme rehevöitymisen estämiseksi. Tästä nousee esille myös elinkaariajattelu, jonka soisi yleistyvän myös rakentamishankkeissa merkittävästi. Hiilijalanjäljen vaikutus on tulevaisuuteen kumuloituva ilmiö. Ne ratkaisut, joita nyt teemme rakennustekniikassa ja rakennusten energiatuotannossa näkyvät selvästi vasta tulevaisuudessa.

Kehitys nollaenergiarakennuksia kohti asettaa meidät väistämättä kysymyksen eteen kuinka haluttu taso voidaan saavuttaa ilman, että vaarannetaan rakenteiden fysikaalinen toimivuus. Useat tutkimukset ovat jo osoittaneet selvän kannattavuusrajan lämmöneristämislle ja erityisesti rakennusten ilmatiiviyn on todettu jo merkittävästi vaikuttavan kiinteistön lämmitysenergian tarpeeseen. Lämmöneristyspaksuuden kasvaessa myös jäähdytystarve kasvaa ja täten saavutetaankin piste, jossa olisi löydettävä tasapainotila lämmöneristämisen ja jäähdytystarpeen välillä. Useissa hankkeissa rakentamisen aikaisella laadun ohjauksella on saavutettu hyviä tuloksia. Tarkastelun painopistettä olisi siirrettävä itse rakentamisvaiheeseen, jossa oleellisena osana toimivat työntekijöiden koulutus ja rakentamisen laadun, erityisesti saumakohtien ja liitosten, tarkastelu. Kokonaisenergiatarkastelun valossa jäähdytysenergiatarve olisi hyödyllisintä toteuttaa uusiutuvan energiamuodon avulla. Jäähdytystarpeeseen voidaan kuitenkin vaikuttaa myös rakennuksen arkkitehtuurin avulla, joita ovat muun muassa ulkopuolinen varjostus ja tuulettuva julkisivu. Ulkopuolisella varjostuksella, kuten markiiseilla, voidaan tehokkaasti vähentää kesäaikaista huoneen lämpötilan nousua ja tätä kautta vähentää jäähdytyksen tarvetta. Joissakin uusissa jäähdytysratkaisuissa hyödynnetään myös van-

hoja ilmanvaihtotapoja yhdistämällä matala ilmannoisuus kuilurakenteisiin. Sen sijaan geoenergiaa hyödyntävissä kohteissa lämmönkeruuliuoksen käyttäminen jäähdytysenergian tuotantoon on taloudelliseltakin kannalta kannattavin vaihtoehto. Tasapainopisteen löytyminen edellyttää kuitenkin ennen kaikkea yhteistyötä rakentamisen eri osa-alueiden ja osapuolten välillä koko rakennusvaiheen läpi. Tätä tasapainotilan saavuttamista olisi rakentamiseen vaikuttavien lakien, asetusten ja määräysten tuettava.

Energiakaavoituksella, prosessien hukkalämmön hyödyntämisellä ja hybridijärjestelmillä on selvä sija tulevaisuuden energiatekniikan ratkaisuissa. Alueellinen oma-varainen energiatuotanto on puolestaan osoitettu toimivaksi riittävän tiheään asutuilla alueilla. Hybridijärjestelmän etu verrattuna esimerkiksi pelkän aurinkoenergian käyttämiseen piilee siinä, että energiamuodot täydentävät toisiaan. Useamman uusiutuvan energialähteen käyttäminen vähentää merkittävästi ostoenergian tarvetta. Tämän ei kuitenkaan tulisi poissulkea ratkaisuja, joissa keskitetysti tuotetaan energiaan uusiutuviin energialähteisiin tukeutuen. Samalla on muistettava, että liian monimutkaiset järjestelmät ovat aiheuttaneet käytettävyydessä ongelmia. Usein yksinkertaisilla toimintaratkaisuilla on järjestelmän luotettavuus ollut huomattavasti parempi.

Paras lämmitysenergiaratkaisu muiden energiatarpeiden ohella saadaan aikaiseksi tarkastelemalla eri vaihtoehtoja ja niiden käyttökustannuksia jo suunnitteluvaiheessa. Siirtyminen kokonaisenergiatarkasteluun luo väistämättä myös tilanteen, jossa primäärienergiälähteen muotoa on tarkoin harkittava. Ratkaisuissa vaaditaan myös rohkeutta koerakentaa, sillä ilman sitä tekniikan laadullinen kehittyminen on lähes mahdotonta. Kattava pilotointi vaatii yhteistyötä rakennuttajien ja materiaali- sekä laitetoimittajien välillä. Esimerkiksi tällä hetkellä kiihkeän tuotekehityksen kohteena olevat korkean hyötysuhteen omaavat CHP-laitokset voivat tulevaisuudessa olla varsin varteenotettava sekä lämmön että sähkön tuotantomuoto kiin-

teistökohtaisella tasolla, mutta myös osana alueellisen energiatuotannon ratkaisuja.

Viime aikaiset tutkimukset vahvistavat, että energiatekniikan alalla on nähtävissä selvästi yksi puute. Niin kutsutun kattojärjestön puuttuminen alalta johtaa koko sektorin hajanaisuuteen ja vaikuttaa merkittävästi tiedon välittymiseen ja sen uskottavuuteen. Samalla koehankkeiden valtakunnallinen yhtenäisen tukijärjestelmän ja pilotointiprojektien tulosten sekä niiden seurannan kanavointi yhdelle instanssille puuttuu alalta vielä toistaiseksi täysin. Keskittäminen helpottaisi merkittävästi tiedonkeruuta uusia hankkeita suunniteltaessa. Kattojärjestö myös kokoaisi yhteen alan osaajia ja mahdollisia yhteistyökumppaneita, jolloin itse kehitystyö ja pilottihankkeiden käynnistäminen helpottuisi verrattuna nykytilaan.

Rakentamisen painottuessa vahvasti kustannusten hallittavuuteen ja niiden minimointiin ei saada aikaan hyvää pohjaa elinkaariajattelumallille. Kun tarkastellaan rakennusten kokonaiskustannuksia koko elinkaariajalta päädytään tilanteeseen, jossa on todettava etteivät tarvitut lisäinvestoinnit suhteessa kokonaiskustannuksiin ja lisäinvestoinnista saatuun säästöön nähden ole mittavia. Nykyrakentamis- ja energiatekniikan valossa nollaenergiatason saavuttaminen on täysin mahdollista. Yhtenäistämällä voimassa olevia käytäntöjä ilman lämmöneristyspaksuuden kasvattamista saavutetaan jo merkittäviä tuloksia. Kokonaisuudessaan tarkasteltuna tällä hetkellä rakentamiseen vaikuttavat lait, asetukset ja määräykset yhdessä laatu- ja ympäristöluokitusten kanssa omaavat yhtäläisyyttä ympäristölainsäädännöstä tunnetun parhaan käytettävissä olevan tai parhaan käyttökelpoisen tekniikan eli BATin kanssa. BATissa huomioidaan käytettävän tekniikan osalta muun muassa energiatehokkuus ja jätteiden määrät sekä päästöjen määrä, laatu ja vaikutus. Sinällään BAT-ideologiaa ei suoraan voida soveltaa vahvasti kilpailuvetoiselle rakennusosalalle, mutta nykyisten käytäntöjen yhtenäistäminen ajaisi väistämättä rakennusalan soveltamaan sen ajatusta. Ympäristölainsäädäntökään ei edellytä tehtäväksi investointia, joka etuihinsa nähden on täysin kannattamatonta.

Lopulta ajaudutaan kuitenkin siihen todellisuuteen, että tehdyt uudistukset rakentamismääräyskokoelmassa vaarantavat todetusti tiettyjen rakenteiden toimivuuden. Tällaiset uudistukset olisi ensisijaisesti tehtävä perustuen rakenteiden huolelliseen tutkimukseen. Uudistusten jälkeen on selvästi osoitettu, että hyvä rakentamisen laatu voidaan saavuttaa nykyisillä lämmöneristysvaatimuksilla. Panostamalla laadunhallintaan ja tiiviyyteen sekä energianäkökohtiin on saavutettu ympäristönkin kannalta kestävämpi ratkaisu. Opinnäytetyötä varten läpi käydystä materiaalista kävi selvästi ilmi uutisoinnin pääpainonmuutos energianäkökohdista uudistuneisiin rakentamismääräyksiin ja tätä myötä lämmöneristämiseen ja ilmatiiviyyteen. Muutosten nopeus voi kuitenkin olla haitallinen tekijä. Kaikkien uusien määräysten taivoittaminen vaatii myös aikaa toimivien ratkaisujen kehittämiseksi. Lopulta kysynnän ja tarjonnan laki tulee määrittelemään sen, mikä näistä opinnäytetyössä esitellyistä pilottihankkeen energiateknisistä ratkaisuista tulee yleistymään. Vain se on tällä hetkellä varmaa, että parhaaseen ympäristöystävälliseen ja samalla kustannustehokkaaseen energiatekniikan ratkaisuun on monta tietä.

## LÄHTEET

A 10.9.1999/895. Maankäyttö- ja rakennusasetus.

A 17.08.2006/713, muutos 14.04.2011/359. Valtioneuvoston asetus ympäristövaikutusten arviointimenettelystä.

Ahti-Virtanen, J. 2010. Uusi maakylmäratkaisu Skanskalta, vähän liikkuvia osia. Talotekniikkalehti 08, 31-33.

Aurinkokeräimet. 29.03.2011. [Verkkosivu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 11.06.2012]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/aurinkokeraimet](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/aurinkokeraimet)

Auringosta lämpöä ja sähköä. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 24.02.2012]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/files/2220/AurinkoEnergia\\_www.pdf](http://www.motiva.fi/files/2220/AurinkoEnergia_www.pdf)

Aurinkoenergia Suomen olosuhteissa ja sen potentiaali ilmastomuutoksen torjunnassa. 01.06.2001. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Solpros Ay. [Viitattu 11.06.2012]. Saatavana: [http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/3rdeport\\_final.PDF](http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/3rdeport_final.PDF)

Bamberg, S. 2010. Ikea: Energiatehokkuus tavarataloketjussa. [Verkkojulkaisu]. Esselloo SLO:n asiakaslehti. Vantaa: SLO Oy. [Viitattu 13.07.2012]. Saatavana: [http://www.slo.fi/www/fi/Julkaisut/Esselloo\\_2\\_2010.pdf](http://www.slo.fi/www/fi/Julkaisut/Esselloo_2_2010.pdf)

Biolan uusi pääkonttori. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Eura: Biolan Oy. [Viitattu 13.07.2012]. Saatavana: <http://www.biolan.fi/suomi/yritysesittely/uusi-paee-konttori>

BREEAM, How to get an assessment. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Englanti: BRE Global. [Viitattu 10.08.2012]. Saatavana: <http://www.breeam.org/page.jsp?id=530>

Ecopaalut. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Nummela: Parma Oy. [Viitattu 21.11.2012]. Saatavana: <http://parma.fi/fi/Tuotteet/Ecopaalut/>



- ECO2 -ohjelma. 03.05.2011. [Verkkosivu]. Tampere: Tampereen kaupunki. [Viitattu 27.07.2012]. Saatavana: <http://www.tampere.fi/vuores/alueensuunnittelu/eco2.html>
- Eklund, E. 2011. Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön. Tampereella tuulee -projekti. [Verkkojulkaisu]. Tampere: Kodin vihreä energia Oy. [Viitattu 28.06.2012]. Saatavana: [http://www.eco2.fi/uploads/hankkeet/Jokamiehen%20opas\\_verkkoversio%20%28ES%2015-06-12%29.pdf](http://www.eco2.fi/uploads/hankkeet/Jokamiehen%20opas_verkkoversio%20%28ES%2015-06-12%29.pdf)
- Ekologinen energia lämmittää messukoteja. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Vaasa: Vaasan kaupunki. [Viitattu 06.09.2011]. Saatavana: <http://asuntomessut.vaa-sa.fi/Default.aspx?id=485636>
- Ekologista jäähdytystä ja lämpöä Helsingin kesässä, tiedote. 23.07.2012. [Verkkosivu]. Helsinki: Helsingin Energia. [Viitattu 12.09.2012]. Saatavana: <http://helen.fi/tiedotteet/tiedotteet.aspx?id=389>
- Ekoviikin EU-aurinkolämpöjärjestelmien jatkoseuranta, loppuraportti. 2004. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Solpros Ay. [Viitattu 13.06.2012]. Saatavana: [http://www.solpros.org/reports/Ekoviikki\\_loppuraportti\\_2004.pdf](http://www.solpros.org/reports/Ekoviikki_loppuraportti_2004.pdf)
- Eko-Viikki seurantaprojektin loppuraportti. 2004. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy. Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto julkaisuja 2004:10. [Viitattu 13.06.2012]. Saatavana: [http://www.hel2.fi/taske/julkaisut/2009/Eko-Viikki\\_loppuraportti\\_Motiva%202004.pdf](http://www.hel2.fi/taske/julkaisut/2009/Eko-Viikki_loppuraportti_Motiva%202004.pdf)
- Energiaomavarainen asuinalue. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Vaasa: EnergyVaasa. [Viitattu 18.07.2012]. Saatavana: <http://www.energyvaasa.fi/test/energiaomavarainen-asuinalue>
- Energiatehokkuussopimukset. 24.04.2012. [Verkkosivu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 10.08.2012]. Saatavana: <http://www.energiatehokkuussopimukset.fi/fi/>
- Energiatodistus, Lanssikatu 3-5. 2011. 05.03.2012. [Verkkojulkaisu] Lahti: Lahden Talot Oy. [Viitattu 10.07.2012]. Saatavana: <http://www.lahdentalot.fi/usercontrols/naytaEnergiatodistus.aspx?id=78537>
- Esimerkkikohteita. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Helsinki: Green Building Council Finland. [Viitattu 10.08.2012]. Saatavana: <http://figbc.fi/kira/kohteet/>

- eRR- ja eRD -energiapaalut. 15.03.2012. [Verkkosivu]. Helsinki: Rautaruukki Oyj. [Viitattu 21.11.2012]. Saatavana: <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Infra-strukturiratkaisut/Teraspaalut/eRR--ja-eRD--energiapaalut>
- Euroopan aluekehitysrahaston rahoittaman projektin kuvaus, Projektikoodi A31088, RR-tietopalvelu. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. [Viitattu 11.09.2012]. Saatavana: <https://www.eura2007.fi/rrtiepa/projekti.php?projektikoodi=A31088>
- Finland's Fifth national Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. 2009. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Ympäristöministeriö, Tilastokeskus. [Viitattu 10.08.2012]. Saatavana: [http://unfccc.int/resource/docs/natc/fin\\_nc5.pdf](http://unfccc.int/resource/docs/natc/fin_nc5.pdf)
- Flinck, J-P. 2010. Uusiutuvan energian hyödyntämismahdollisuudet Nurmi-Sorilan alueen suunnittelussa. Tampereen teknillinen yliopisto. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.
- Green Building Council Finland, rakennusten ympäristöluokitukset. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Helsinki: Green Building Council Finland. [Viitattu 10.08.2012]. Saatavana: <http://figbc.fi/kira/ymparistoluokitukset/>
- GTK tutkinut hybridilaitoksen energiaratkaisua. 07.06.2011. [Verkkolehtiartikkeli]. Talotekniikka -lehti. Saatavana: [http://www.talotekniikka-lehti.fi/www/fi/?we\\_objectID=3688](http://www.talotekniikka-lehti.fi/www/fi/?we_objectID=3688)
- Tyhjiöputkikeräimet. 10.02.2009. [Verkkosivu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 11.06.2012]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeraimet](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeraimet)
- Hakaste, H., Rinne H.& Jalo T. 2008. Eko-Viikki tavoitteiden ja tulosten erot energiankulutuksessa. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 24.02.2012]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/files/1576/Eko-Viikki\\_tavoitteiden\\_ja\\_tulosten\\_erot\\_energiankulutuksessa.pdf](http://www.motiva.fi/files/1576/Eko-Viikki_tavoitteiden_ja_tulosten_erot_energiankulutuksessa.pdf)
- Haikon kylpylä on hyödyntänyt vesilämpöä jo vuodesta 85. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Vantaa: Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. [Viitattu 18.07.2012]. Saatavana: [http://www.sulpu.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=42&Itemid=49](http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=42&Itemid=49)

Hankesuunnitelma, Penttilänranta. 07.12.2010. [Verkkosivu]. Joensuu: Joensuun kaupunki. [Viitattu 27.07.2012]. Saatavana: <http://www.jns.fi/Resource.phx/sivut/sivut-penttilanranta/esittely/hankesuunnitelma.htx>

Hautakangas, H. 27.06.2002. Ekotalo vaatii tekijöiltään paljon. [Verkkolehtiartikkeli]. Helsinki: Rakennuslehti. [Viitattu 13.06.2012]. Saatavana: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/3200.html>

Heikkonen, H. 26.06.2008. [Verkkolehtiartikkeli]. Ekologinen rakentaminen jäi Vaasassa pelkäksi sanahelinäksi. Rakennuslehti 26.06.2008. [Viitattu 18.07.2012]. Saatavana: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/talous/13645.html>

Heikkonen, H. 13.11.2008. Lahteen rakennetaan hybridilämmitteisiä matalaenergiataloja. Rakennuslehti 13.11.2008, 12

Heikkonen, H. 09.04.2009. Kivikkoon valmistuu virheiden arvojen liikuntakeskus. Rakennuslehti 09.04.2009, 10-11.

Heikkonen, H. 15.10.2009. Aurinkolämpö soveltuu kerrostaloihin. Rakennuslehti 15.10.2009, 12.

Heikkonen, H. 16.09.2010. Vaisalalle rakennetaan ekotehokas pääkonttori. Rakennuslehti 16.09.2010, 10-11.

Heikkonen, H. 11.11.2010. Lähilämpöverkot matalaenergiarakentamisessa -projektissa hyviä tuloksia. [Verkkolehtiartikkeli]. Rakennuslehti 11.11.2010. [Viitattu 13.07.2012]. Saatavana: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/23153.html>

Heikkonen, H. 13.10.2011. Viikin Ympäristötalo on Suomen paras. [Verkkolehtiartikkeli]. Rakennuslehti 13.10.2011. [Viitattu 13.07.2012]. Saatavana: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/26287.html>

Heikkonen, H. 07.06.2012. Korjausmääräykset lausunnoille. [Verkkolehtiartikkeli]. Rakennuslehti 07.06.2012. [Viitattu 08.08.2012]. Saatavana: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/28627.html>

Hellsten, J. 19.03.2008. Maalämpö tuli teollisuushalliin. [Verkkolehtiartikkeli]. Rakennuslehti 19.03.2008. [Viitattu 13.07.2012]. Saatavana: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/12513.html>

- Hellsten, J. 02.10.2008. Määritelmäviidakko. [Verkkolehhtiartikkeli]. Rakennuslehti 02.10.2008. [Viitattu 10.08.2012]. Saatavana: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/14524.html>
- Hellsten, J. 19.03.2009. Nupuriin tulee ensimmäinen alueellinen kalliolämpöratkaisu. Rakennuslehti 19.03.2009, 18.
- Hellsten, J. & Korhonen, A. 21.01.2010. Ympäristöluokitus yleistyy. Rakennuslehti 21.01.2010, 10-11.
- Helsingin energia, kuvapankki. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Helsinki: Helsingin energia. [Viitattu 05.12.2012]. Saatavana: <http://www.helen.fi/yritys/kuvapankki.html>
- Helsingin kaupunki Rakennusvirasto. 11.04.2011. Viikin ympäristötalo energiatehokkuuden kärkikohde Suomessa. [Verkkosivu]. Helsinki: Helsingin kaupunki. [Viitattu 13.07.2012]. Saatavana: <http://www.hel.fi/hki/hkr/fi/Ajankohtaista/Uutis-arkisto?id=6776&office=hkr&lang=fi&period=2011&path=>
- Integroidut kattilat. 2008. Bioenergia -lehti 06/2008, 14.
- Jaakkola, H. 2009. Lämpöä talteen jätevesistä. TM rakennusmaailma -lehti 2, 60-62.
- Jaakkola, H. 2012. Heikko startti aurinkoenergian markkinoille. Metallitekniikka lehti 23.08.2012. Helsinki: Talentum Oyj. [Viitattu 10.08.2012]. Saatavana: Talentum lehtiarkisto, vaatii käyttöoikeuden.
- Johansson, A. 2009. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Helsingin Energia. [Viitattu 24.02.2012]. Saatavana: [http://www.viikinuusiutuvaenergia.net/Anna\\_Johansson\\_Eko-Viikki.pdf](http://www.viikinuusiutuvaenergia.net/Anna_Johansson_Eko-Viikki.pdf)
- Kapiainen-Heiskanen, P. 2010. Maalämpö toi merkittävät säästöt. Suomen Kiinteistölehti. (4), 13-15.
- Karjalainen, R. 2007. Kehittämishankeselvitys – selvitys toteutuneista kehittämiss-hankeista. Kerrostalojen kehittämissprojektin osaselvitys 5. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Helsingin kaupunki talous- ja suunnittelukeskus. [Viitattu 19.06.2012]. Saatavana: <http://www.hel2.fi/ksv/kerrostalo/pdf/kehittamishankeselvitys.pdf>

- Kaskinen, H. 2009. Kerrostalon lämpöyhdistelmä. TM Rakennusmaailma -lehti (5), 50-52.
- Katri Valan lämpö- ja jäähdytyslaitos hyödyntää hukkaenergiaa. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Helsinki: Helsingin Energia. [Viitattu 12.09.2012]. Saatavana: <http://www.helen.fi/ymparisto/katrivala.html>
- Keskioja, J. 2011. MyPower tuulivoimalat tuottavat kerrostaloille sähköä Raahessa. Tuulienergia -lehti (2). [Verkkojulkaisu]. Jyväskylä: Suomen Tuulivoimayhdistys ry. [Viitattu 25.09.2012]. Saatavana: [http://www.tuulivoimayhdistys.fi/sites/www.tuulivoimayhdistys.fi/files/tuulienergia\\_0211\\_vedos3.pdf](http://www.tuulivoimayhdistys.fi/sites/www.tuulivoimayhdistys.fi/files/tuulienergia_0211_vedos3.pdf)
- Koivistoinen, Aki. 2011. Työpaja Suomesta aurinkoenergian edelläkävijä. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Dazzle Oy. [Viitattu 25.06.2012]. Saatavana: [http://www.tekes.fi/fi/gateway/PTARGS\\_0\\_201\\_403\\_994\\_2095\\_43/http%3B/tekes-ali1%3B7087/publishedcontent/publish/programmes/groove/documents/seminaariaineistot/aurinkoenergia\\_081211/aurinkoenergia\\_kooste\\_ty%C3%B6pajasta\\_081211\\_.pdf](http://www.tekes.fi/fi/gateway/PTARGS_0_201_403_994_2095_43/http%3B/tekes-ali1%3B7087/publishedcontent/publish/programmes/groove/documents/seminaariaineistot/aurinkoenergia_081211/aurinkoenergia_kooste_ty%C3%B6pajasta_081211_.pdf)
- Korpi, E. 2010. Vaasan Suvilahden Teirinkadun kerrostalot. [Verkkojulkaisu]. Vaasa: Vaasan ammattikorkeakoulu. [Viitattu 04.07.2012]. Saatavana: <http://mata-laenergia.puv.fi/uploads/lehdisto/Esko%20Korpi.ppt>
- Korpi, M. 2011. Kerrostalon tiiviysmittaus. [Verkkojulkaisu]. Vaasan ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen rakennustekniikan koulutusohjelma (ylempi AMK). Opinnäytetyö. Saatavana: <http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/37462/Kerrostalon%20tiivysmittaus.pdf?sequence=2>
- Kuokkanen, H. 2010. Nollaenergia. [Ppt -esitys]. Kuopio: Rakennussuunnittelutoimisto Nylund Oy. [Viitattu 04.07.2012]. Saatavana: [http://www.nollaenergia.fi/dokumentit/jarvenpaa/nollaenergia\\_nylund.ppt](http://www.nollaenergia.fi/dokumentit/jarvenpaa/nollaenergia_nylund.ppt)
- Kuvaajia rakennuskannasta. Päivitetty 07.05.2012. [Verkkosivu]. Helsinki: Ympäristöministeriö ja Museovirasto. [Viitattu 04.07.2012]. Saatavana: [http://www.rakennusperinto.fi/rakennusperintomme/fi\\_FI/rakennuskantakuvaajia/#ika](http://www.rakennusperinto.fi/rakennusperintomme/fi_FI/rakennuskantakuvaajia/#ika)
- Kylpylähotelli Mesikämmen. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Lapua: Suomen Lämpöpumpputekniikka Oy. [Viitattu 04.07.2012]. Saatavana: <http://www.lampoassa.fi/mesikammen.html>

- Laatikainen, T. 2011. Tuulipuisto talon katolla. Tekniikka&Talous -lehti 03.06.2011, 12-13
- Lahden ensimmäiset, suomalaisittain ainutlaatuiset matalaenergiakerrostalot odottavat asukkaita. 14.03.2011. [Verkkosivu]. Lahti: Lahden kaupunki. [Viitattu 04.07.2012]. Saatavana: <http://www.lahdentalot.fi/ajankohtaista/tiedotearkisto2011/lahdenensimmaisematatalaenergiakerrostalot/>
- Lavento, D. Ei päiväystä. Biolanin pääkonttorissa on kokeellista talotekniikkaa. [Verkkojulkaisu]. Lapua: Suomen Lämpöpumpputekniikka Oy. [Viitattu 13.07.2012]. Saatavana: <http://www.lampoassa.fi/cgi-bin/webio-f?id=209&saitti=lampoassa&hash=DA96DEB43C60C408034334CB8E5A2310>
- Lehesvuo, M. 02.08.2010. Case Kustaanportti, kerrostalon matalaenergiaratkaisut. [Verkkojulkaisu]. Vaasa: MRP Energy Oy.[Viitattu 09.07.2012]. Saatavana: [http://www.slidefinder.net/m/markku\\_20lehesvuo/markkulehesvuo/21419370](http://www.slidefinder.net/m/markku_20lehesvuo/markkulehesvuo/21419370)
- Leinonen, P. & Mölsä, S. 2011. Heinäkuun 2012 energiamääräykset eivät säikäytä. [Verkkolehtiartikkeli]. Rakennuslehti 24.11.2011. [Viitattu 10.8.2012]. Saatavana: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/26789.html>
- Liukku, S. <[xxx.xxx@xxx.fi](mailto:xxx.xxx@xxx.fi)> 20.09.2012. Päättötyö. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Jenni Smeds. [Viitattu 25.11.2012].
- Low2No, Jätkäsaaren energia- ja innovaatiokortteli. 13.01.2011. [Verkkosivu]. Helsinki: Helsingin kaupunki. [Viitattu 27.07.2012]. Saatavana: <http://kerrostalo.hel.fi/hankkeet/low2no-jatkasaaren-energia-ja-innovaatiokortteli>
- Lundgren, M. & Torstensson, K. Photovoltaics in architecture – lessons learned in PV Nord. 2004. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 19.06.2012]. Saatavana: <http://www.pvnord.org/results/downloads/PVarchitects050121.pdf>
- Lämmitystavan vaihto: Kerrostalo säästi 30 000 euroa. 30.09.2010. [Verkkolehtiartikkeli] Tampere: Aamulehti. [Viitattu 07.09.2012]. Saatavana: <http://www2.aamulehti.fi/teema/kotijaasuminen/lammitystavan-vaihto-kerrostalo-saasti-30-000-euroa/192092>
- Lämpöä omasta maasta. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy.[Viitattu 03.07.2012]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/files/3378/Lampoa\\_omasta\\_maasta\\_maalampopumpput.pdf](http://www.motiva.fi/files/3378/Lampoa_omasta_maasta_maalampopumpput.pdf)

Lämpöä puusta puhtaasti ja uusiutuvasti, lämmitysjärjestelmät, pellettilämmitys. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy.[Viitattu 20.07.2012]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/files/1375/Lampoa\\_puusta\\_puhtaasti\\_ja\\_uusiutuvasti\\_-\\_pellettilammitys.pdf](http://www.motiva.fi/files/1375/Lampoa_puusta_puhtaasti_ja_uusiutuvasti_-_pellettilammitys.pdf)

Lämpöä ja viileää ilmaa järvestä Mesikämmeneen. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Vantaa: Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. [Viitattu 18.07.2012]. Saatavana: [http://www.sulpu.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=48&Itemid=123](http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=48&Itemid=123)

Lämpöpumppujärjestelmän suunnittelu. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Sulpu ry. [Viitattu 03.07.2012]. Saatavana: [http://www.sulpu.fi/images/stories/pdf/LPjarjsuunnittelu\\_asiakas.pdf](http://www.sulpu.fi/images/stories/pdf/LPjarjsuunnittelu_asiakas.pdf)

Maalämpöjytky tuli. Viime vuoden kasvu 72%. 13.02.2012. [Verkkosivu]. Helsinki: Sulpu ry. [Viitattu 03.07.2012]. Saatavana: [http://www.sulpu.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=186&Itemid=123](http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=186&Itemid=123)

Mainio, T. 2012. Energiapaalu ratkaisemaan porauskiistoja. Helsingin Sanomat 07.04.2012, A10

Majaniemi, R. 2009. Yrityspuisto lämpiää järven pohjasta. Tekniikka&Talous -lehti 23.04.2009, 14.

Malve-Tamminen, R. 2009. Aurinkoenergia pysähtyi Eko-Viikkiin?. Suomen Kiinteistölehti (6), 28-31.

Manninen, A. 2009. Katajanokan uusi tietokonesali lämmittää 500 omakotitaloa. [Verkkolehdiartikkeli]. Helsingin Sanomat 02.12.2009 [Viitattu 25.07.2012]. Saatavana: HS–Arkisto -tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.

Matalaenergiatalon määritelmiä. 17.05.2011. [Verkkosivu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 10.08.2012]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen\\_on\\_energiatehokas\\_pientalo/matalaenergiatalon\\_maaritelmia](http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalo/matalaenergiatalon_maaritelmia)

Matalaenergia 2 -hanke. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Vaasa: Vaasan ammattikorkeakoulu. [Viitattu 08.08.2012]. Saatavana: [http://www.puv.fi/fi/com/projects/matalaenergia-hanke\\_2/](http://www.puv.fi/fi/com/projects/matalaenergia-hanke_2/)

- Mikkonen, A. Ei päiväystä. Fiktiota ja faktaa tuulivoimasta. [Verkkojulkaisu]. Jyväskylä: Suomen Tuulivoimayhdistys ry. [Viitattu 28.06.2012]. Saatavana: [http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoimayhd-files/faktaa\\_ja\\_fiktiota\\_tuulivoimasta.pdf](http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoimayhd-files/faktaa_ja_fiktiota_tuulivoimasta.pdf)
- Mikä Low2No?. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Helsinki: Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra. [Viitattu 27.07.2012]. Saatavana: <http://www.sitra.fi/low2no>
- Mourujärvi, K. <[xxx.xxx@xxx.fi](mailto:xxx.xxx@xxx.fi)>. 12.09.2012. Vastaus kyselyyn. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Jenni Smeds. [Viitattu 25.09.2012].
- NCC Toimitilat. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Helsinki: NCC-yhtiöt. [Viitattu 10.08.2012]. Saatavana: [http://www.ncc.fi/tietoa\\_nccsta/ymparistojaenergia/ymparisto/fi\\_FI/toimitilat/](http://www.ncc.fi/tietoa_nccsta/ymparistojaenergia/ymparisto/fi_FI/toimitilat/)
- Nokialla taloyhtiö siirtyi kaukolämmöstä maalämpöön. 21.3.2010. [Verkkoartikkeli]. Helsinki: MTV3 Internet. [Viitattu 04.07.2012]. Saatavana: [http://www.mtv3.fi/ohjelmat/sivusto2008.shtml/lifestyle/joka\\_kodin\\_asuntomarkkinat/ohjelma\\_\\_taloyhtio?1082416](http://www.mtv3.fi/ohjelmat/sivusto2008.shtml/lifestyle/joka_kodin_asuntomarkkinat/ohjelma__taloyhtio?1082416)
- Nupurinkartanon suunnitelmat. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Espoo: Hista -foorumi, Espoon kaupunki. [Viitattu 27.07.2012]. Saatavana: [http://www.hista.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=151&Itemid=294](http://www.hista.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=151&Itemid=294)
- Ojansivu, M. 2011. Koetalo lämpiää maalämmöllä, kerrostalojen energiatehokkuusetenee jälkijunassa. [Verkkolehtiartikkeli]. Helsingin Sanomat 16.10.2011 [Viitattu 24.02.2012]. Saatavana: HS–Arkisto -tietokannasta. Vaatii käyttöoikeuden.
- Orrenmaa, A. 2010. Vaasassa testataan rakenteiden käyttäytymistä matalaenergiatalossa. Rakennuslehti 25.11.2010.
- Parkkari, M. & Perkkiö, T. 2011. Opas oman pientuulivoimalan hankintaan. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 28.06.2012]. Saatavana: <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/files/Opas%20oman%20pientuulivoimalan%20hankintaan%20-%20Parkkari,%20Perkki%C3%B6.pdf>
- Pelletillä kestävää lähienergiaa: Osa 5 suuriin tiloihin pellettilämpöä -esittelyvideo. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Suomen Pellettienergiayhdistys ry. [Viitattu 20.07.2012]. Saatavana: <http://www.youtube.com/watch?v=thRIVbN121o>



- Peltoranta, J. 2011. Järvenpään nollaenergiakerrostalo käyttää uusiutuvaa energiaa. [Verkkolehtiartikkeli]. Espoo: Projektiiutiset -lehti. [Viitattu 10.08.2012]. Saatavana: <http://www.projektiiutiset.fi/fi/artikkelit/kerrostalo-jampankaari-4-e-ja-f-jarvenpaa>
- PromisE, Kiinteistö-Promise, Käyttöohje. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 10.08.2012]. Saatavana: <http://www.motiva.fi/files/2230/KiinteistoPromiseManual.pdf>
- Puhakka, A., Alanen, V-M., Kokkonen, A., Nalkki, J. & Rousku. 2003. Pellettilämmitysopas, perustietoa pellettilämmityksestä. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy ja Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. [Viitattu 20.07.2012]. Saatavana: [http://www.pellettikarelia.fi/pelletti\\_karelia/materiaali/pellettiopas.pdf](http://www.pellettikarelia.fi/pelletti_karelia/materiaali/pellettiopas.pdf)
- Puhakka, A. & Makkonen, S. (toim.) 2011. Lähilämpöratkaisut matalaenergiarakentamisessa. Joensuu: Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun julkaisuja B:22. [Viitattu 27.07.2012]. Saatavana: [http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/32354/B22\\_final.pdf?sequence=4](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/32354/B22_final.pdf?sequence=4)
- Puukerrostalot Suomessa. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Helsinki: Puuinfo. [Viitattu 20.07.2012]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/puukerrostalot-suomessa/>
- Puupelletit – nykyaikainen lämmitystapa. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 20.07.2012]. Saatavana: <http://www.motiva.fi/files/684/puupelletit.pdf>
- Pyykkönen, A-L. 14.01.2008. Vantaalle nousee Suomen suurin aurinkoenergiaa hyödyntävä toimistotalo. [Verkkolehtiartikkeli]. Helsinki: Helsingin Sanomat. Viitattu 25.06.2012]. Saatavana: <http://www.hs.fi/kaupunki/artikkeli/Vantaalle+nousee+Suomen+suurin++aurinkoenergiaa+hy%C3%B6dynt%C3%A4v%C3%A4+toimistotalo/HS20080114SI1KA02n9f>
- Rajala, P., Hirvonen, H., Perttula, S., Lähde, E., Pulkka, P., Jarmala, L., Laukkanen, J., Patronen, J., Jokinen, M., Rintala, T., Rajakallio, K., Kauppinen, T., Pöyry. 2010. [Verkkojulkaisu]. Energiatehokkuus kaavoituksessa: Skaftkärr, Porvoo kaavarunkovaiheen loppuraportti. Helsinki: Sitra. Sitran selvityksiä 41. [Viitattu 26.06.2012]. Saatavana: <http://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksi%C3%A4-sarja/Selvityksi%C3%A4%2041.pdf>

Rakennusten energia- ja ekotehokkuus. 14.05.2012. [Verkkosivu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 08.08.2012]. Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=411480&lan=FI>

Rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmät. 23.01.2012. [Verkkosivu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 10.08.2012]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/toimialueet/materiaalitehokkuus/materiaalitehokkuuden\\_edistaminen\\_kunnissa/materiaalitehokas\\_talorakentaminen/rakennusten\\_ymparistoluokitus-jarjestelmat](http://www.motiva.fi/toimialueet/materiaalitehokkuus/materiaalitehokkuuden_edistaminen_kunnissa/materiaalitehokas_talorakentaminen/rakennusten_ymparistoluokitus-jarjestelmat)

Rekola, M. 2011. Paulille pellettipalkinto. RIA -lehti (3), 18-20.

RESCA -Renewable Energy Solutions in City Areas. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Tampere: Tampereen kaupunki. [Viitattu 27.07.2012]. Saatavana: <http://www.eco2.fi/default/fi/hankkeet/resca.html>

Rica Solar kerrostalo –esite. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Riihimäki: Riihimäen Metallikaluste Oy. [Viitattu 18.06.2012]. Saatavana: [http://www.rica.fi/data/pdf-tiedostot/Rica\\_Heating/RicaSolarKerrostalo.pdf](http://www.rica.fi/data/pdf-tiedostot/Rica_Heating/RicaSolarKerrostalo.pdf)

Riipinen, M. 15.2.2010. Kevyt kaukolämpö, matalalämpötilainen kaukolämpöverkko. Seminaari Honkasuon tontinvarauskilpailu. Helsinki: Helsingin Energia. [Viitattu 27.07.2012]. Saatavana: [http://www.livingbusiness.fi/qa/ambientia.fi/attachments/100215\\_kevyt\\_kaukolampo\\_honkasuo\\_marko\\_riipinen\\_helsingin\\_energia.pdf](http://www.livingbusiness.fi/qa/ambientia.fi/attachments/100215_kevyt_kaukolampo_honkasuo_marko_riipinen_helsingin_energia.pdf)

Rintala, H. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Riihimäki: As Oy Allinan Helmi. [Viitattu 18.06.2012]. Saatavana: <http://www.teeparannus.fi/attachments/2010-06-03T19-41-5014834.pdf>

Rintamäki, A. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Tervasviita 9 – mukavaa asumista ja edistyksellistä energiaa. Seinäjoki: Lakea Oy. [Viitattu 10.07.2012]. Saatavana: [http://www.lakea.fi/Tervasviita\\_9\\_8211\\_mukavaa\\_asumista\\_ja\\_edistyksellista\\_energiaa](http://www.lakea.fi/Tervasviita_9_8211_mukavaa_asumista_ja_edistyksellista_energiaa)

Rissanen, H. 28.04.2009. [Verkkosivu]. Häivähdys puuntuoksua: Kaksi pellettikattilaa, 20 huoneistoa. Nummela: Kiinteistöklubi Oy. [Viitattu 10.07.2012]. Saatavana: <http://www.kiinteistoklubi.com/energialampoe/42-pelletti-ja-puu/143-haei-vaehdys-puuntuoksua-kaksi-pellettikattilaa-20-huoneistoa>

Sassi, L. 2012. Toimitusjohtaja. Kiinteistö Oy Kummatti. Puhelinkeskustelu 20.08.2012.

Sedimenttikartoitus. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Vaasa: Teknologiakeskus Oy Merinova Ab. [Viitattu 18.07.2012]. Saatavana: [http://www.geoenergia.fi/sedimenttikartoitus\\_fi.html](http://www.geoenergia.fi/sedimenttikartoitus_fi.html)

Sedimenttilämmön kartoittaminen ja hyödyntäminen Pohjanmaalla ja Etelä-Pohjanmaalla. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Lapua: Thermopolis Oy. [Viitattu 06.09.2011]. Saatavana: <http://www.thermopolis.fi/Print.aspx>

Selvitys hajautetusta ja paikallisesta energiantuotannosta erilaisilla asuinalueilla. Loppuraportti 12/2010, kaavoitus, bioenergia, aurinkoenergia, tuulivoima. 2010. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 28.06.2012]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/files/4458/Hajautettu\\_ja\\_paikallinen\\_energiantuotanto\\_loppuraportti.pdf](http://www.motiva.fi/files/4458/Hajautettu_ja_paikallinen_energiantuotanto_loppuraportti.pdf)

Seppälä, P. 25.07.2011. Kaukolämpö ilman piiloveroa. [Verkkolehtiartikkeli]. Tampere: Kiinteistömedia Oy. [Viitattu 20.07.2012]. Saatavana: <http://www.asuntokiinteisto.fi/lehti.php?sub=artikkeli&jid=73>

Simunaniemi, V. 2010. Nollaenergia. [Ppt -esitys]. Järvenpää: Järvenpään Mestari-asunnot Oy. [Viitattu 10.08.2012]. Saatavana: [http://www.nollaenergia.fi/dokumentit/jarvenpaa/nollaenergia\\_lentoon\\_seminaari.ppt](http://www.nollaenergia.fi/dokumentit/jarvenpaa/nollaenergia_lentoon_seminaari.ppt)

SOK:n logistiikkakeskukseen Suomen suurin uusiutuvaa energiaa käyttävä hybridilaitos. 28.08.2009. [Verkkolehtiartikkeli]. Rakennuslehti. [Viitattu 13.07.2012]. Saatavana: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/uutiset/18769.html>

Suomen rakentamismääräyskokoelma. Päivitetty 08.10.2012. [Verkkosivu]. Helsinki: Valtion ympäristöhallinto. [Viitattu 25.11.2012]. Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=412983&lan=FI>

Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D2 2012. 30.11.2011. [Verkkosivu]. Helsinki: Valtion ympäristöhallinto. [Viitattu 25.11.2012]. Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/rakentamismaaraykset>

Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3 2012. 06.06.2012. [Verkkosivu]. Helsinki: Valtion ympäristöhallinto. [Viitattu 21.08.2012]. Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/rakentamismaaraykset>

Talotekniikka 04.09.2009. Aurinkolahden peruskoulu aurinkoenergian koekohteena. [Verkkosivu]. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy. [Viitattu 25.06.2012].

Saatavana: [http://www.talotekniikka-lehti.fi/www/fi/?we\\_objectID=2014](http://www.talotekniikka-lehti.fi/www/fi/?we_objectID=2014)

Talotekniikka 26.01.2011. Pitäjänmäellä aurinkosähköä tehdään tarpeeseen.

[Verkkosivu]. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy. [Viitattu 25.06.2012]. Saatavana: [http://www.talotekniikka-lehti.fi/www/fi/?we\\_objectID=3343](http://www.talotekniikka-lehti.fi/www/fi/?we_objectID=3343)

Taloyhtiön käyttövesi lämpenee aurinkoenergialla. 14.03.2010. [Verkkolehtiartikkeli]. Helsinki: MTV Oy. [Viitattu 18.06.2012]. Saatavana: [http://www.mtv3.fi/ohjelmat/sivusto2008.shtml/lifestyle/joka\\_kodin\\_asuntomarkkinat/ohjelma\\_taloyhtio?1077026](http://www.mtv3.fi/ohjelmat/sivusto2008.shtml/lifestyle/joka_kodin_asuntomarkkinat/ohjelma_taloyhtio?1077026)

Tee parannus! Ei päiväystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 21.11.2012]. Saatavana:

<http://www.teeparannus.fi/>

Tervola, J. 2011. Elisan palvelimet lämmittävät Espoota. 30.11.2011. [Verkkolehtiartikkeli] Helsinki: Tekniikka&Talous -lehti. Saatavana:

<http://www.tekniikkatalous.fi/ict/elisan+palvelimet+lammittavat+espoota/a731564>

Tiedote. Aurinkoenergia käyttöön Espoonkruunun kerrostaloissa. 30.11.2011.

[Verkkojulkaisu]. Espoo: Espoonkruunu Oy. [Viitattu 13.07.2012]. Saatavana: <http://www.rakli.fi/attachements/2011-11-30T14-57-0986.pdf>

Tiilimäki, T. 21.09.2011. Porin uusi uimahalli käyttää aurinkoenergiaa. [Verkkosivu]. Pori: Porin kaupunki. [Viitattu 25.06.2012]. Saatavana:

<http://www.pori.fi/uutiset/2011/09/porinuusiimahallionkaikenkansanvirkistyskeidas.html>

Tuohiniitty, H. 03.12.2010. Pelletillä edullista ja ilmastoystävällistä kiinteistöjen

lämmitystä. [Verkkojulkaisu]. Jyväskylä: Pellettienergiayhdistys ry. ja Tuohiniitty, H. [Viitattu 20.07.2012]. Saatavana: <http://www.kesto.fi/ACFiles/Download.asp?recID=5370>

Tuuliturbiini Lappeenrannan kampukselle. 17.08.2011. [Verkkolehtiartikkeli]. Hel-

sinki: Talotekniikka -lehti Talotekniikka-Julkaisut Oy. [Viitattu 29.06.2012]. Saatavana: [http://www.talotekniikka-lehti.fi/www/fi/?we\\_objectID=3759](http://www.talotekniikka-lehti.fi/www/fi/?we_objectID=3759)

- Tuulivoimarakentaminen. 2005. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Ympäristöministeriö. [Viitattu 07.09.2012]. Saatavana: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=42234&lan=FI>
- Tuulivoimateknologia. 2.4.2009. [Verkkosivu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 28.06.2012]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/tuulivoima/tuulivoimateknologia](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoimateknologia)
- Tuulivoima. 14.06.2012. [Verkkosivu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 28.06.2012]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/tuulivoima](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/tuulivoima)
- Törmänen, E. 03.03.2010. Puukerrostalo ei saa tuulta alleen [Verkkolehtiartikkeli]. Helsinki: Tekniikka&talous -lehti. [Viitattu 10.08.2012]. Saatavana: <http://www.tekniikkatalous.fi/rakennus/article378615.ece>
- Uusiutuvan energian käyttö Suomessa. 17.04.2012. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 25.11.2012]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/uusiutuvan\\_energian\\_kaytto\\_suomessa](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuvan_energian_kaytto_suomessa)
- Uusiutuvan energian trendit Suomessa. 26.06.2009. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 11.06.2012]. Saatavana: [http://www.motiva.fi/files/2291/Uusiutuvan\\_energian\\_trendit\\_Suomessa\\_kalvosarja.pdf](http://www.motiva.fi/files/2291/Uusiutuvan_energian_trendit_Suomessa_kalvosarja.pdf)
- Vaisala Oyj. Ei päiväystä. [Verkkosivusto]. Helsinki: Vaisala Oyj. [Viitattu 13.07.2012]. Saatavana: [www.vaisala.fi](http://www.vaisala.fi)
- Vaisala Oyj. Ei päiväystä. [Verkkosivusto]. Helsinki: Vaisala Oyj. [Viitattu 05.12.2012]. Saatavana: <http://www.vaisala.com/en/press/mediamaterials/imagetbank/newheadoffice/Pages/default.aspx>
- Viitanen, J. 2010. Aurinkosähköjärjestelmän yhdistäminen LED-valaistukseen tasajännitteellä. Aalto-yliopisto teknillinen korkeakoulu. Elektroniikan laitos. Diplomityö.
- Vinha, J. Yhteenveto Frame-projektin tulokseista. 1.12.2011. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Talonrakennusteollisuus ry. [Viitattu 08.08.2012]. Saatavana: <http://www.rakennusteollisuus.fi/download.aspx?intFileID=2773&intLinkedFromObjectID=13296>

- Vinha, J. 2011. TTY: Energiamääräykset ja ilmastonmuutos lisäävät kosteusriskiä. [Verkkolehtiartikkeli]. Rakennuslehti 24.11.2011. [Viitattu 08.08.2012]. Saatavana: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/26805.html>
- Virta, K. 2011. Nollaenergiakerrostalon rakenneratkaisut. Metropolia ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
- VTT selvitti: puurakentamisen yleistyminen vähentää CO<sub>2</sub> -päästöjä huomattavasti. 15.06.2012. [Verkkosivu]. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. [Viitattu 10.08.2012]. Saatavana: [http://www.tem.fi/?89519\\_m=107006&s=2471](http://www.tem.fi/?89519_m=107006&s=2471)
- Yhdistelmärakennepiloteilla aurinkoenergiasta liiketoimintaa -projektin loppuraportti. 2010. [Verkojulkaisu]. Pori: Prizztech Oy. [Viitattu 21.11.2012]. Saatavana: [http://www.prizz.fi/asiakaskuvat/Energia/LOPPURAPORTTI\\_YhdistelmäC3%A4rakennepilotti\\_versio2.pdf](http://www.prizz.fi/asiakaskuvat/Energia/LOPPURAPORTTI_YhdistelmäC3%A4rakennepilotti_versio2.pdf)
- Ääni. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Jyväskylä: Suomen Tuulivoimayhdistys ry. [Viitattu 20.11.2012]. Saatavana: <http://www.tuulivoimatieto.fi/melu>
- Östersundomista vihreä lähiö. 10.07.2011. [Verkkosivu]. Helsinki: Helsingin sanomat. [Viitattu 27.07.2012]. Saatavana: <http://www.hs.fi/paakirjoitus/artikkeli/%C3%96stersundomista+vihre%C3%A4+l%C3%A4hi%C3%B6/HS20110710SI1MA01h18>